## Manuel de conservation, restauration et création de

# VITRAUX



**Ministère de la Culture et de la Communication**

**Direction de l'Architecture et du Patrimoine**

Mission Ingénierie et Références Techniques

Paris, septembre 2006

Ministère de la culture et de la communication

Direction de l'Architecture et du Patrimoine
Sous-direction des monuments historiques et des espaces protégés
Mission Ingénierie et Références Techniques

**Manuel de conservation, restauration et création de**

# VITRAUX

Ce fascicule a été rédigé par Isabelle PALLOT-FROSSARD,
directeur du Laboratoire de recherche des monuments historiques, assistée d'un groupe de travail composé de :

Jean-Jacques BURCK, ingénieur d'étude au LRMH
Sabine DIDELOT, Sous-direction des monuments historiques
Dominique GERMAIN-BONNE, ingénieur d'étude au LRMH
Alain HERAIL, vérificateur des monuments historiques (Cabinet CIZEL)
Eric PALLOT, architecte en chef des monuments historiques
Annick TEXIER, ingénieur de recherche au LRMH

Hervé DEBITUS, maître-verrier à Tours (37)
Mireille JUTEAU, maître-verrier à Ermont (95)
Claudine LAUTIER, chargée de recherche au CNRS, vice-présidente du comité international du Corpus Vitrearum
Benoît et Stéphanie MARQ, maîtres-verriers à Reims (51)
Michel MAURET, maître-verrier à Etrepy (51)
Pierre-Alain PAROT, maître-verrier à Aiserey (21)
Serge PASCAL, Maison de l'outil et de la pensée ouvrière à Troyes (10)
Michel PETIT, maître-verrier à Thivars (28)
Anne PINTO, restauratrice de vitraux à Tusson (16)
Alain VINUM, maître-verrier à Troyes (10)
Michel YOUNSI, Les charpentiers de Paris à Bagneux (92)

Les dessins ont été réalisés par l'agence d'Eric PALLOT, architecte en chef des monuments historiques (Ioanna LAZARESCU).

La recherche iconographique a été faite par Nathalie FRACHON-GIELAREK, membre du Corpus Vitrearum.
La relecture a été assurée par Claudine LOISEL, ingénieur sous contrat au LRMH.

Les clichés ont été aimablement fournis par :
Le LRMH (Jean-Pierre BOZELLEC, Dominique BOUCHARDON)
Isabelle BAUDOUIN
Hervé DEBITUS
Mireille JUTEAU
Eric PALLOT
Pierre-Alain PAROT
Michel PETIT
Anne PINTO
Alain VINUM

# AVANT-PROPOS

Ce manuel s'intègre dans la série *des manuels de sensibilisation* aux travaux de restauration de monuments historiques édités par la direction de l'architecture et du patrimoine au ministère de la culture et de la communication.
Il a été rédigé à l'intention de tous ceux qui peuvent intervenir à un titre ou un autre sur des verrières en vitrail, maîtres d'ouvrage, maîtres d'œuvre, maîtres verriers, restaurateurs de vitraux, serruriers, maçons, chacun dans son domaine. Il comporte donc toutes les grandes catégories d'interventions sur une verrière, du vitrail lui même jusqu'aux armatures et à la maçonnerie de la *baie*.
Son champ d'application est avant tout celui des monuments historiques et des verrières qu'ils contiennent, que ce soit en restauration d'œuvres existantes, quelle que soit leur époque, comme en création de verrières nouvelles. Il pourra être utilisé dans un cadre plus large, avec de nécessaires adaptations, en fonction de l'intérêt historique et de la qualité des verrières considérées.
Il a pour objectif de définir un corpus de règles admises par l'ensemble de la profession, afin de garantir un ouvrage de qualité, le plus pérenne possible. Il n'a ni la prétention d'être exhaustif, car on ne peut faire un inventaire de tous les cas de figure, ni la volonté de constituer un livre de recettes prêtes à l'emploi. L'application des règles énoncées ne peut donc être faite que par des intervenants qualifiés, maîtrisant parfaitement leur métier.
Les lecteurs potentiels de ce document pouvant être très variés, on a pensé utile de préciser quelques règles déontologiques et de rappeler quelques données historiques. Cependant, le chapitre sur la conservation et la restauration ne comprend que des principes propres à la conservation des vitraux et ne répète pas les principes généraux qui figurent déjà dans d'autres chartes ou codes déontologiques reconnus au niveau international (cf. Bibliographie).

# SOMMAIRE

# GÉNÉRALITÉS





Les Riceys (10), église de Ricey-Bas, baie 103, *La Création*, détail de la scène *La Réprimande divine*, XVIe s.,
a. Le visage d'Eve avant restauration (©. D. Alliou)
b. Même détail après restauration (©. D. Alliou)

## 1°. DÉFINITIONS

Le **vitrail** [1] est un ensemble de pièces de *verre*, généralement peu épaisses (de 2 à 4 mm), découpées en formes diverses selon un dessin préétabli, translucides ou transparentes, colorées ou non et maintenues entre elles par un *réseau* de *plombs* [2]. Les pièces de verre peuvent recevoir un décor de *grisaille*, *jaune d'argent*, *émaux*, gravure, peintures à froid. Le mot vitrail désigne donc une technique et non un objet.
La **verrière** est la fermeture fixe, en verre, d'une baie ou d'une partie de baie, directement maintenue par une *armature* métallique ou par le cadre en maçonnerie de la *baie* [3]. La verrière peut donc être réalisée suivant diverses techniques. On ne traitera ici que de celles qui font appel à la technique du vitrail, à l'exclusion d'autres modes d'expression, comme la *dalle de verre*.
Parois fragiles qui se situent à la frontière entre l'architecture et l'œuvre d'art, les vitraux ont subi, au cours des siècles, de nombreuses destructions et *altérations*, dues aux hommes (vandalisme, guerres, modifications des aménagements liturgiques, etc…), aux intempéries (pluies, grêle, chocs thermiques), à la pollution atmosphérique (altérations chimiques du verre), aux micro-organismes, ou tout simplement au manque d'entretien. C'est pourquoi de nombreuses verrières ont disparu, en France et en Europe, et si la France possède malgré tout le patrimoine le plus important du monde dans ce domaine, il importe aujourd'hui de le préserver avec le plus grand soin, en évitant les erreurs du passé.

[1] Définition extraite de Blondel (1993)
[2] Les termes en italiques sont définis dans le glossaire (annexe 3, p. 106)
[3] *Ibid.*



Montfort l'Amaury (78), église Saint-Pierre, baie 13, scènes de la vie de saint Pierre, XVI[e] s. (©.LRMH)

## 2°• ALTÉRATIONS DES VITRAUX

### A • LES ALTÉRATIONS DE LA BAIE ET DE LA STRUCTURE DE LA VERRIÈRE

#### a • Les altérations de la baie

La verrière en vitrail est habituellement fixée au cadre de la baie, dans une feuillure ou une rainure, par un *calfeutrement* au mortier de chaux. Ce calfeutrement en assure l'étanchéité sur les côtés et en partie supérieure.
Lorsque cette étanchéité et ce maintien ne sont plus assurés on constate des infiltrations d'eau nuisibles à la conservation de la face interne des verres, et des déformations des panneaux dues à un mauvais maintien par l'armature métallique.

1. Strasbourg (67), cathédrale, éclatement d'un *meneau* de pierre, en raison de la corrosion de la barlotière qui le traverse (©.LRMH).



2. Troyes (10), église Saint-Urbain, oxydation très importante de l'ensemble de l'armature métallique. Le gonflement des produits de corrosion entraîne des casses dans les verres (©.A.Vinum).





Parfois les anciens calfeutrements ont été remplacés par de nouveaux au mortier de ciment, très durs, qui rendent périlleuses les déposes ultérieures de panneaux, en raison des risques de casses de pièces de bordures.

Le cadre en pierre de la baie peut-être aussi fissuré, voire brisé, et perdre son rôle de maintien des panneaux.

#### b • Les altérations de l'armature métallique

L'armature de la verrière, le plus souvent en fer ou en acier, est généralement constituée d'un réseau de fers principaux de section rectangulaire, les *barlotières*, sur lesquelles sont fixés les panneaux par des fers plats, les *feuillards*, maintenus sur la barlotière par des *clavettes* glissant dans la *lumière* des *pannetons* (cf. ch. 4, Armatures de verrières). Des barres intermédiaires de section généralement circulaire, les *vergettes*, soutiennent les panneaux auxquels elles sont fixées par des *attaches* en plomb.

Sous l'effet des eaux de ruissellement et bien souvent d'un mauvais entretien, ces barlotières s'oxydent et ne soutiennent plus correctement les panneaux. Ceux-ci vont donc se déformer, se bomber, provoquant parfois des dessertissages et des casses de verres.

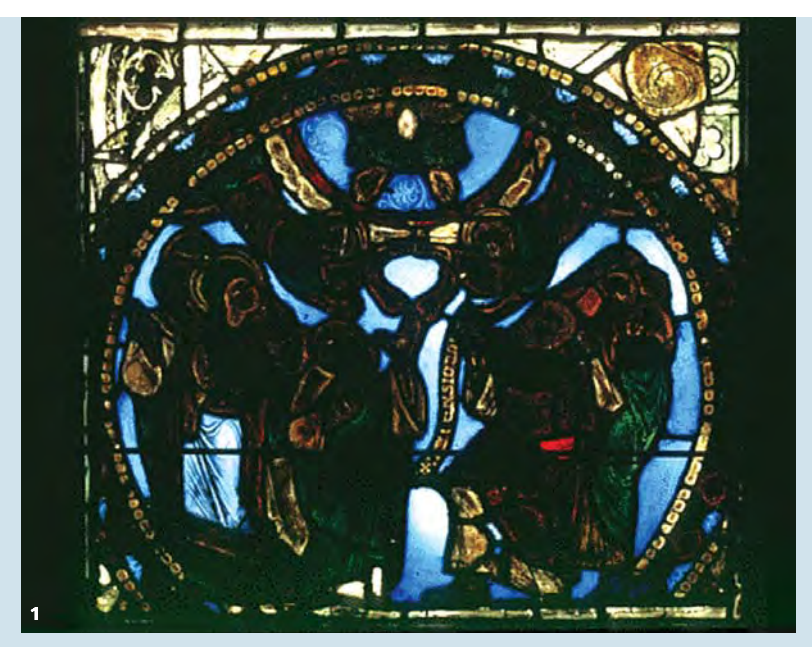
### B • LES ALTÉRATIONS DES VERRES

Les altérations les plus visibles des verres sont les casses dues à des phénomènes mécaniques, chocs, déformations des armatures métalliques ou du réseau des plombs. Cependant les verres subissent également des altérations d'ordre chimique liées à leur composition et aux agressions de l'environnement.

#### a • La composition des verres et de la grisaille

Les verres anciens sont composés pour l'essentiel de silice (le sable) et de sels alcalins comme *fondant*, soit de potassium (provenant de cendres de bois ou de fougères), soit de sodium (provenant de sels ou végétaux marins) ainsi

que de calcium (provenant de l'ajout de chaux). Cette composition a évolué du moyen-âge jusqu'à nos jours. Les verres médiévaux sont le plus souvent à fondant potassique, les verres de la fin du moyen-âge et de l'époque moderne à fondant sodique.



Chartres (28), église Saint-Pierre, panneau de l'*Ascension*, XIIe s. Les verres bleus à fondant sodique ne sont pas altérés et sont restés transparents. Tous les autres, à fondant potassique, sont altérés et ont perdu leur transparence (©.LRMH).







1. Reims (51), basilique Saint-Remi, détail d'un verre du XIIe s., vue en réflexion de la face externe, présentant une altération uniforme qui se délite en feuillets et provoque une opacification (©.LRMH).

2. Chartres (28), église Saint-Pierre, baie 228, détail d'un verre du XIVe s., vue en réflexion de la face externe altérée par cratères (©.LRMH).

3. Evreux (27), cathédrale Notre-Dame, baie 0, détail de la face externe d'un *panneau* recouvert de lichens, vue en réflexion (©.LRMH).

La grisaille, qui se présente au départ en poudre, plus ou moins finement broyée, est constituée d'un fondant vitrifiable obtenu à partir d'un verre, le plus souvent au plomb, et d'oxydes métalliques destinés à colorer le mélange. Elle est ensuite appliquée sur le verre à l'aide d'eau, de vinaigre, d'essence, puis cuite à 630° C environ.

### b • Les altérations de la face externe

Depuis une vingtaine d'années, les phénomènes d'altération des vitraux médiévaux ont été largement étudiés par différents laboratoires en France et en Europe. Il ressort de ces études que les verres médiévaux, à fondant potassique et teneur relativement faible en silice, subissent une importante dissolution sélective, dite *lixiviation*, des éléments modificateurs du réseau vitreux (potassium, calcium), principalement sous l'effet de l'eau, qu'elle soit de *condensation* ou de ruissellement, et de la pollution atmosphérique, en particulier par le dioxyde de soufre. Il s'ensuit un appauvrissement de la matrice vitreuse et le développement d'une *couche perturbée* hydratée, dite aussi couche de gel, recouverte le plus souvent d'une couche de produits d'altération, formée généralement de *gypse* ou de *syngénite*. On observe dans d'autres cas une altération en *cratères*, qui affectent profondément le verre et sont remplis de produits d'altération. Ces couches entraînent un obs-

curcissement des verres qui les rend parfois complètement opaques. Ces phénomènes touchent en priorité la face externe des verres, la plus directement exposée aux agressions de l'environnement.
Ils concernent essentiellement les verres médiévaux, à fondant potassique, et non les verres à fondant sodique de la fin du moyen-âge et de l'époque moderne, beaucoup plus durables.

### c. Les altérations de la face interne

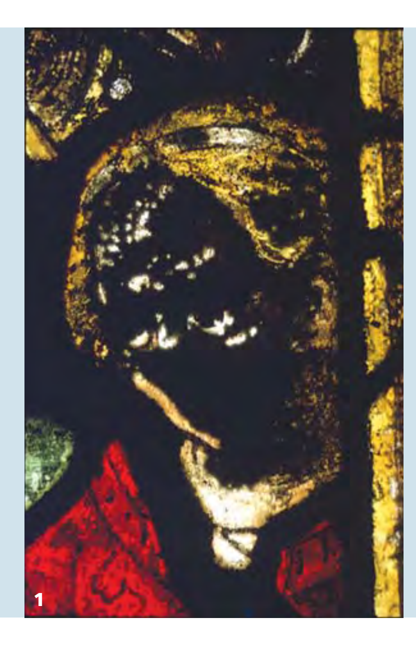
La face interne subit également des attaques de l'environnement, du fait des condensations, fréquentes sur des parois froides dans des édifices où l'humidité relative est importante. Ces condensations provoquent la formation de microcratères, entraînant des obscurcissements du verre et parfois des soulèvements de la grisaille lorsqu'ils se développent sous les traits, ou encore des proliférations de *micro-organismes*, champignons, algues, bactéries. Ces derniers sont soupçonnés d'être à l'origine de brunissements dus à l'*oxydation du manganèse* contenu dans les verres.
La plupart de ces phénomènes touchent aussi bien les verres médiévaux que ceux de l'époque moderne. Les vitraux du XIXe siècle, en particulier, souffrent de la condensation sur la face interne, entraînant bien souvent, outre les proliférations de micro-organismes, des décollements ou pulvérulence de grisaille insuffisamment cuite, ou de composition empirique.

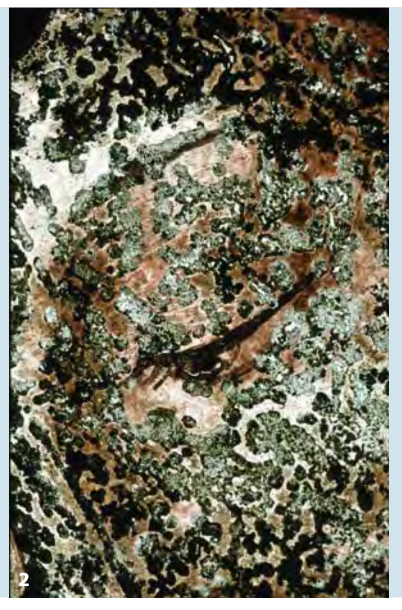
1. Pont-Croix (29), église Notre-Dame de Roscudon, détail d'un panneau du XVIe s. présentant un fort brunissement, partiellement dû à l'oxydation du manganèse (©.LRMH).



2. La Ferté-Bernard (72), église Notre-Dame des Marais, baie 5, *Le repas de Jésus à Béthanie*, XVIe s., détail d'un verre présentant de nombreuses piqûres en face interne ainsi qu'une oxydation du manganèse (©.LRMH).






## 3°. LES ÉTUDES PRÉALABLES

### A. OBJECTIFS

"La première étape dans un projet de conservation comprend une étude sur l'histoire de l'œuvre, sa fonction, les traitements qu'elle a subis, ainsi que ses conditions actuelles de conservation. […] Les résultats de cette étude préliminaire forment la base de tout concept de conservation et de restauration, qui définit à la fois les objectifs généraux de l'opération, ses différentes étapes techniques et une stratégie de conservation à plus long terme"[3]

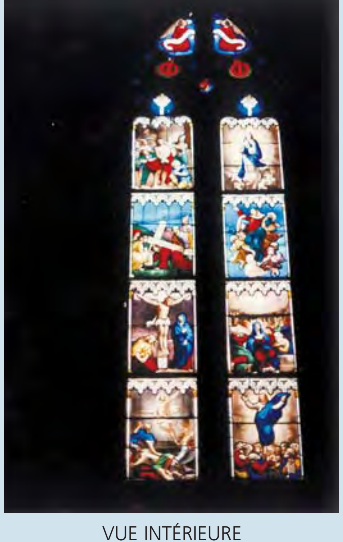
Une telle étude, qui requiert le plus souvent la collaboration d'historiens de l'art, de restaurateurs de vitraux, d'architectes, de scientifiques spécialistes des matériaux, et parfois d'autres corps de métier tels que des serruriers, maçons, tailleurs de pierre, a pour objectif de mieux connaître :

[3] cf. *Directives pour la conservation et la restauration des vitraux*, Comité international du corpus vitrearum pour la conservation des vitraux historiques, 2004 (cf. annexe 2).

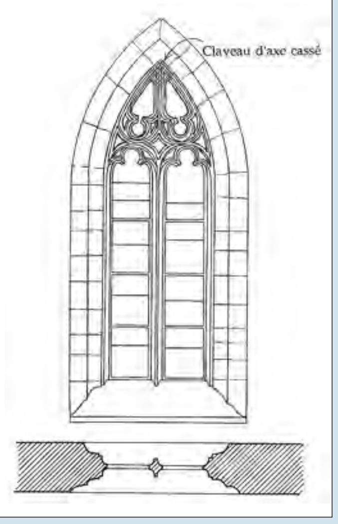
Belley (01), cathédrale, exemple de planches tirées d'une étude préalable synthétisant l'état sanitaire global des baies et de leurs verrières, XIXe s (©. E. Pallot).



VUE EXTÉRIEURE

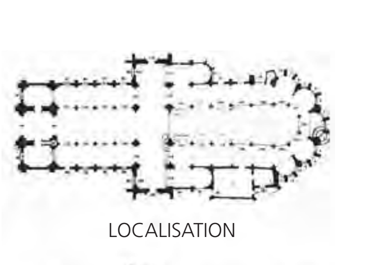


VUE INTÉRIEURE




ELÉVATION EXTÉRIEURE, Ech. 2 cm/m

**Thème :** "VIE du CHRIST et MORT de la VIERGE".
**Type vitrail :** vitrerie de couleur peinte (grisaille et jaune d'argent). Scènes historiées par panneau.
**Epoque :** 1851 - Desbordes.
**Surface :** 3,70 m2.
**Nombre de panneaux :** 13
**Mode de pose :** pose intérieure.
*Réseaux :*
. pose en rainure
*Panneaux :*
. pose dans encadrement en fer boulonné,
. vergettes intérieures,
. panneaux mastiqués,
. ossature calfeutrée.
**Protection :** *grillage* extérieur.
**Observations :**
. autel à protéger,
. jour entre ossature des vitraux et tableaux de la baie,
. chute E.P. extérieure.
**Etat sanitaire :**
*Vitraux :*
. bon état général, une pièce cassée,
. dépôts en face externe.
*Serrurerie :*
. ferrures, feuillards, vergettes oxydés,
. protection grillagée à remplacer.
*Maçonnerie :*
. bon état,
. 1 élément de réseau cassé.
**Travaux à réaliser :**
*Vitraux :*
. dépose à 100% et occultation provisoire
. nettoyage panneaux, révision sertissage,
. pièces neuves grisaille et couleur,
. pose, masticage.
*Serrurerie :*
. traitement antirouille ossature, révision scellements.
*Maçonnerie :*
. nettoyage feuillure,
. révision scellements,
. lavage ébrasements et parements,
. rejointoiement tableaux et lancettes en recherche, badigeons,
. calfeutrement vitraux et rejingot,
. remplacement claveau d'axe.




-Ain-
CATHEDRALE DE BELLEY
RESTAURATION DES VITRAUX
ERIC PALLOT, A.C.M.H. Septembre 1991
BAIE
No
2

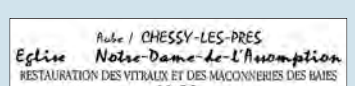
Chessy-les-Prés (10), église Notre-Dame de l'Asssomption, baie 7, XVIe s. Exemple de planches tirées d'une étude préalable analysant les interventions à réaliser sur les panneaux eux-mêmes (©. E. Pallot).

a. b. c.

12

6

5

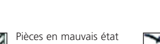

Aube / CHESSY-LES-PRES
Eglise Notre-Dame-de-L'Assomption
RESTAURATION DES VITRAUX ET DES MACONNERIES DES BAIES
P.D.C.E.
Etat des lieux 11.1
BAIE 7 - lancettes, vitraux classés (cliché A. Vinum, 1994)
E. PALLOT – Architecte en chef des Monuments Historiques Juin 2002

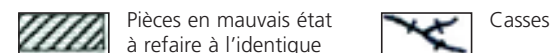


**Diagnostic et travaux :**
Deux panneaux déposés en très mauvais état, plombs cassés, pièces desserties.
Sur le reste des panneaux, nombreuses casses, plombs vétustes, verres dessertis.
Absence de feuillards, ferrures vétustes :
. dépose et restauration des panneaux en atelier
. réorganisation de la présentation des panneaux par thèmes iconographiques :
- suppression des panneaux en "salade" a.5 et c.5 qui seront utilisés dans la baie 5 à la création de panneaux d'accompagnement de couleur (sauf inscription relative au martyre de Saint-Georges - à poser aussi dans la baie 5)
- déplacement des panneaux b.5 - b.6 dans la baie 5 (martyre de Saint-Georges)
- ferrures neuves.

**Légendes**


Lacunes ou verres incolores à compléter


Pièces *bouche-trou* à remplacer


Pièces en mauvais état à refaire à l'identique


Casses

**ICONOGRAPHIE** *(d'après le Corpus Vitrearum)*

- *baie à 3 lancettes trilobées, 4 ajours au tympan*
- *verrière composite. remploi de panneaux du Ier quart du XVIe s. au milieu d'une vitrerie incolore du XXe s.*

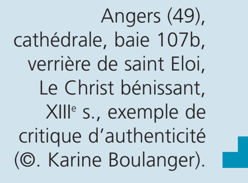
***lancettes :***
**a.5** - *salade (panneau déposé incomplet)*
**a.6** - *Genèse : le paradis recouvré grâce à Marie, partie gauche de la scène où la Vierge ouvre la porte du paradis aux élus, suivis du pape, l'évêque, l'empereur et le roi (Biver, 1935)*
- *verres gravés dans les costumes (panneau déposé et incomplet)*
**b.5** - *inscription narrative : "Comment il fut ...... le... repris du saint (?) dessusdit(?) et mys par les lascars en la prison"*
**b.6** - *emprisonnement de saint Georges*
**c.5** - *inscription narrative relative à la légende de saint Georges*
**c.6** - *Genèse : la Réprimande divine, partie inférieure (Biver, 1935)*

- l'histoire de la verrière et de ses anciennes restaurations, remaniements, déplacements,
- ses matériaux constitutifs (verres, plombs, décors, armatures, etc.),
- son état actuel de conservation de façon détaillée et figurée sur des relevés précis et distincts pour une meilleure lisibilité des documents, et de proposer au maître d'ouvrage un principe de conservation, de restauration le cas échéant, ainsi qu'un plan de conservation préventive.

## B • CONTENU

L'étude technique et historique ici décrite sommairement ne porte que sur l'objet de ce fascicule, c'est-à-dire la verrière et sa structure métallique. Elle est le plus souvent intégrée dans une étude préalable plus vaste, menée par l'architecte en charge de la maîtrise d'œuvre (l'architecte en chef des monuments historiques pour les travaux de restauration, l'architecte des bâtiments de France pour l'entretien), qui prend en compte l'environnement architectural de la verrière.
Elle peut comprendre, lorsque l'importance de l'œuvre le justifie :

- un rapport sur l'histoire de la verrière et de ses restaurations ;
- une critique d'authenticité des pièces de verre (verres d'origine, de restauration ancienne, compléments récents, etc.) ;
- des résultats d'analyses scientifiques des matériaux et de leurs altérations ;
- un constat d'état qui porte sur :
  - le cadre architectural de la baie,
  - la structure métallique de la verrière (armature métallique et réseau de plombs),


Angers (49), cathédrale, baie 107b, verrière de saint Eloi, Le Christ bénissant, XIIIe s., exemple de critique d'authenticité (©. Karine Boulanger).





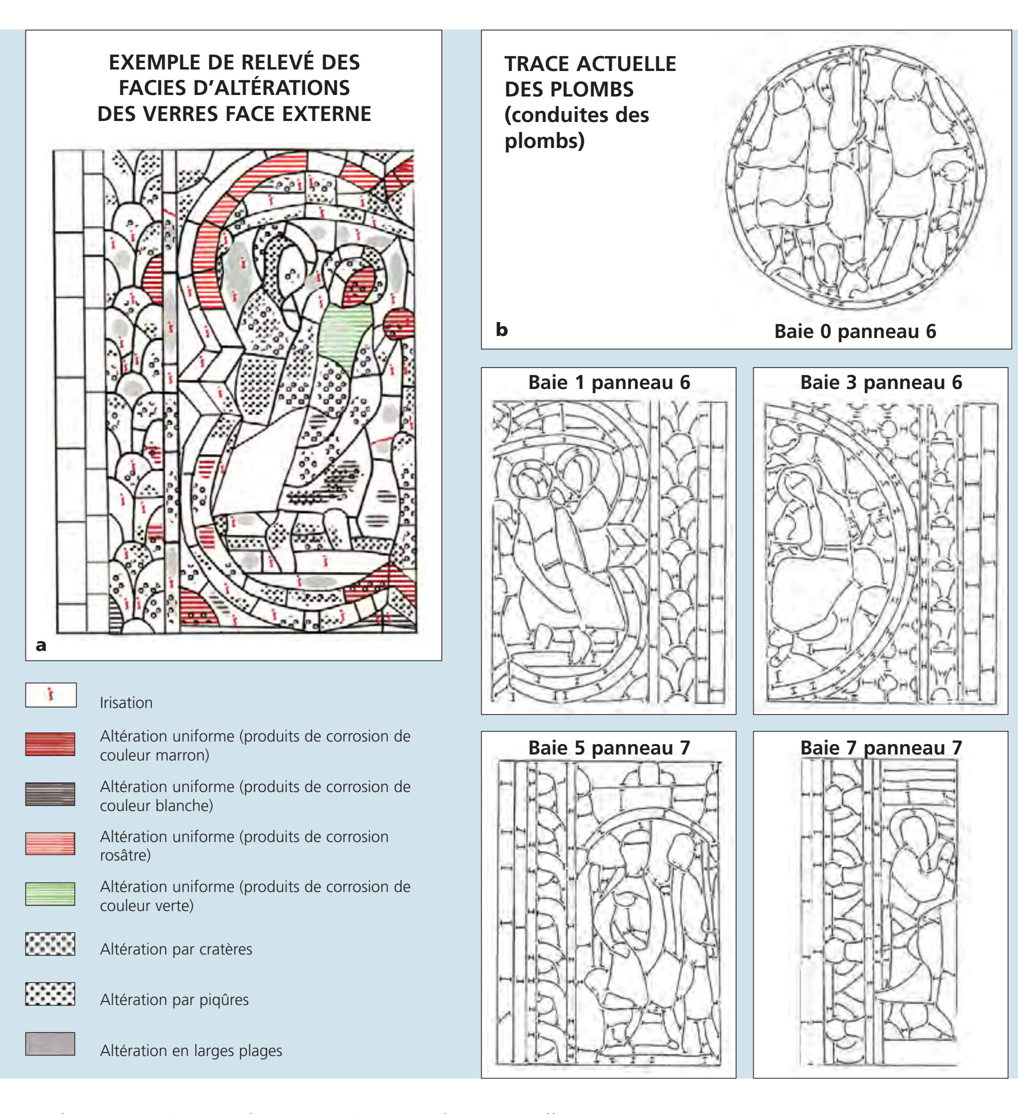


LÉGENDES DES CRITIQUES D'AUTHENTICITÉ

*Système de hachures et code couleur pour les schémas de conservation Directives du Corpus Vitrearum Medii Aevi*

| | | |
|---|---|---|
| (blanc) | Pièces d'origine | (blanc) |
| (hachures verticales) | Pièces remplacées avant le XIXe siècle | (vert) |
| (hachures horizontales) | Pièces remplacées au XIXe siècle | (orange) |
| (hachures obliques) | Pièces remplacées lors de l'avant-dernière restauration | (jaune) |
| (hachures obliques inverses) | Pièces remplacées lors de la dernière restauration | (bleu) |
| (pointillés) | Pointillés à la disposition de l'auteur | (blanc) |
| (quadrillage) | Hachures à la disposition de l'auteur | (blanc) |
| (flèche) | Pièces retournées | (flèche) |
| X | Restauration utilisant des pièces anciennes | (violet) |

- la surface des verres (face externe, face interne), avec les différentes formes d'altération rencontrées et les dépôts exogènes,
- leur décor sur chaque face (grisaille, jaune d'argent, émaux, peintures à froid),
- les matériaux d'étanchéité (mastics sur armature et sur plombs, calfeutrements de mortier) ;




Baye (51), chapelle du château, verrières du XIIIe s., planches tirées de l'étude sanitaire de Delphine Geronazzo, montrant le type d'information technique que l'on peut souhaiter voir figurer dans une étude préalable détaillée.

a. relevé des faciès d'altération des verres en face externe.

b. relevé analysant le tracé des plombs ("conduite des plombs" ou mode de montage).
(©. D. Geronazzo).

- des propositions d'intervention sur l'œuvre elle-même et/ou sur son environnement architectural :
  - type de *nettoyage* envisagé et traitements divers (biocides par exemple),
  - consolidations éventuelles des décors,
  - compléments éventuels de pièces, réintégrations de lacunes picturales,
  - intervention sur le réseau de plombs (en conservation, en remplacement partiel ou total),
  - traitement de l'armature métallique (en conservation ou en remplacement total ou partiel) ;
- des propositions de conservation préventive, telles que :
  - mise en place d'un système de protection (*verrière de protection*, grillages, etc.),
  - établissement d'un plan de surveillance et d'entretien à long terme ;

- une estimation des travaux envisagés ;
- un dossier photographique complet sur l'œuvre traitée.

Cette étude suppose un accès aisé à la verrière qui permette de l'observer de près, généralement un échafaudage approprié, et dans certains cas la *dépose* de quelques panneaux témoins, voire de l'ensemble de l'œuvre lorsque son état de conservation et/ou sa valeur historique le justifient. C'est à ce stade que les laboratoires doivent intervenir pour la caractérisation des matériaux et de leurs altérations, ainsi que les historiens de l'art.

Cette étape, parfois négligée pour des raisons de coût, est cependant nécessaire afin de définir précisément le cadre déontologique, technique et financier de l'intervention. Elle seule peut permettre d'éviter les surprises et aléas d'une opération mal préparée ainsi que tous les surcoûts que cela implique.
La phase suivante est généralement celle de l'établissement du projet architectural et technique, qui comporte un descriptif détaillé des travaux (CCTP), un planning d'intervention, un bordereau de prix unitaires (BPU-DE), ainsi que l'indication du cadre administratif des travaux (CCAG)[4].

### C • CONSULTATION DU LABORATOIRE DE RECHERCHE DES MONUMENTS HISTORIQUES (LRMH)

Le LRMH est un service à compétence nationale du ministère de la culture et de la communication, rattaché à la direction de l'architecture et du patrimoine, sous-direction des monuments historiques. Sa mission, dans le cadre



Observation d'un panneau au LRMH, grâce à un microscope sur pied de type médical (©.LRMH).

des travaux de restauration, est d'apporter une aide au diagnostic et de conseiller le maître d'œuvre et le restaurateur dans le choix des techniques et des produits à employer. Il réalise les analyses scientifiques des matériaux et des produits d'altération qui lui semblent nécessaires dans le cadre de son intervention. Dans certains cas, il peut être amené à établir le cahier des charges d'une étude scientifique plus large, qui sera réalisée par des laboratoires extérieurs.
Toute intervention, autre que de strict entretien, sur des verrières du XII$^{e}$ au XVIII$^{e}$ s. et sur celles du XIX$^{e}$ s. qui posent des problèmes de conservation des verres et de leur décor, devra être précédée d'une étude ou d'une consultation du LRMH.

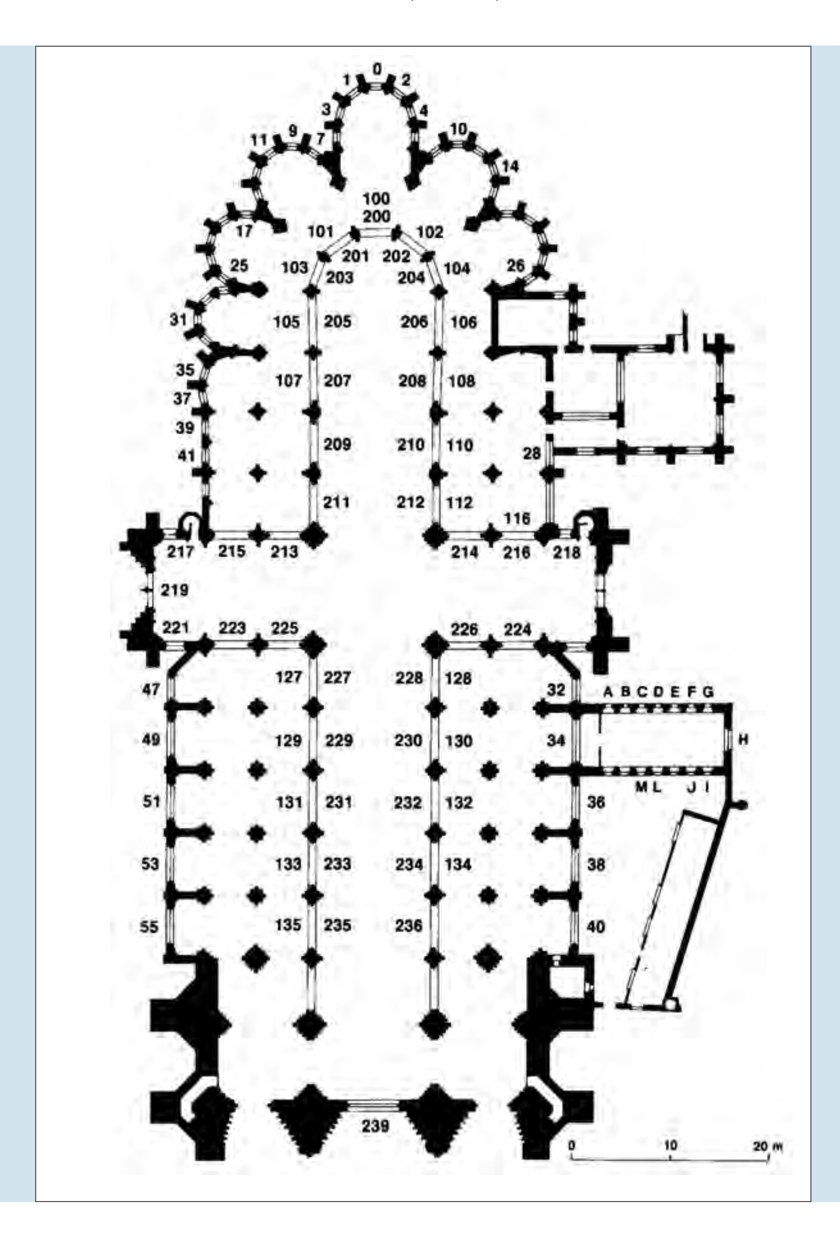
[4] Pour une information plus détaillée on se référa au cadre de CCTP et de BPU-mode de métré, publié par la Mission ingéniérie et références techniques de la direction de l'architecture et du patrimoine, sous-direction des monuments historiques au ministère de la culture et de la communication.

## D • CONTRIBUTION DU CORPUS VITREARUM

Le Corpus vitrearum est un organisme international, fondé en 1952, qui regroupe des historiens du vitrail. Il a pour tâche de recenser et d'étudier tous les vitraux anciens jusqu'au XIX^e s. (exclus) et publie régulièrement le résultat de ses travaux. Il existe un comité français dont les membres appartiennent au CNRS, à l'Université et au ministère chargé de la culture.

Il peut être sollicité pour réaliser des études historiques préliminaires aux travaux, pour le suivi des travaux eux-mêmes, lorsque des problèmes historiques ou iconographiques se posent, ou pour constituer un dossier documentaire après restauration. Lorsqu'il étudie un ensemble de vitraux important en vue d'une publication, il peut demander à avoir accès aux panneaux en cours d'intervention, afin de réaliser ou de vérifier une critique d'authenticité. Dans ce cas, s'il y a accord du maître d'ouvrage et du maître d'œuvre, les présentations de panneaux en atelier et la fourniture d'un *frottis*, ou d'un *relevé* des plombs, doivent être comprises dans le marché.

Le Corpus vitrearum a édicté des règles de conservation, dont le présent document s'inspire, ainsi que des normes de numérotation des baies dans l'édifice et des panneaux dans la baie, qui, pour une harmonisation souhaitable des méthodes, doivent être respectées par tous (cf. annexe 2).




Exemple de plan avec numérotation des baies, selon les normes du Corpus Vitrearum Medii Aevi (comité français).

Cathédrale de Troyes (édifice comportant 3 niveaux de baies et une annexe).
(©. Centre André Chastel, UMR 8150).

## 4°• DÉSIGNATION DES OUVRAGES

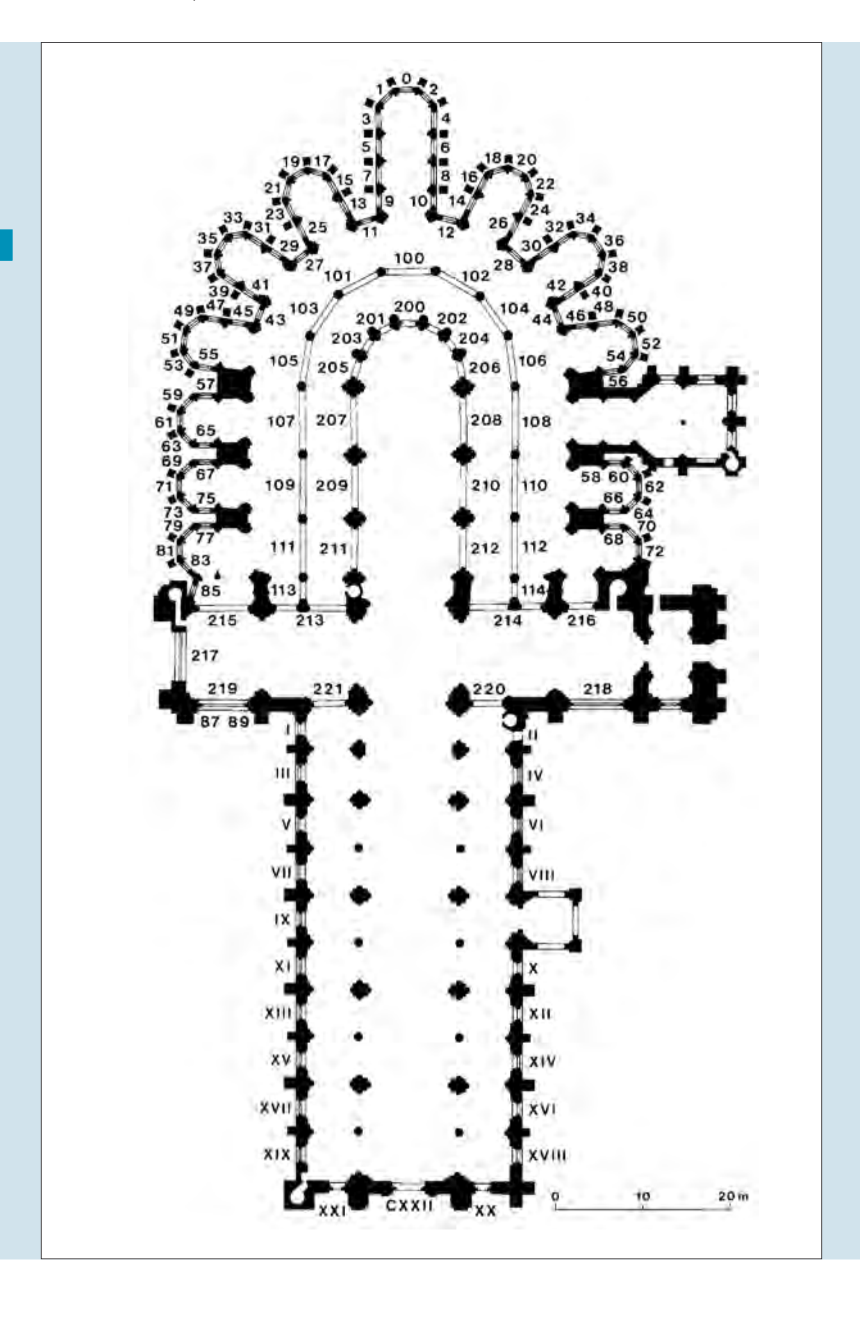
### A • NUMÉROTATION DES BAIES

Pour harmoniser les procédures de désignation des baies dans l'édifice et des panneaux dans la verrière, le Corpus vitrearum, a édicté un certain nombre de règles, reprises et adaptées par le comité français (cf. ch. 3 D)
La numérotation se fait par niveau de l'élévation :

- de 0 à 99 : baies basses,
- de 100 à 199 : baies du 2e niveau (triforium ajouré ou baies hautes quand il n'y a que deux niveaux),
- de 200 à 299 : baies du 3e niveau (baies hautes).

La numérotation en plan se fait en plaçant le 0, le 100 et le 200 dans l'axe, à l'est conventionnel. De part et d'autre de la baie d'axe, on place de façon continue :

- les numéros pairs à droite (sud conventionnel),




Exemple de plan avec numérotation des baies, selon les normes du Corpus vitrearum (comité français). Cathédrale du Mans (édifice particulier comportant un nombre de baies supérieur à 100 au premier niveau). (©. Centre André Chastel, UMR 8150).

• les numéros impairs à gauche (nord conventionnel).

On prend en compte les baies murées, mais non les fausses baies. Les baies des annexes en hors-œuvre font l'objet d'une numérotation distincte par lettres majuscules.

## B • NUMÉROTATION DES PANNEAUX

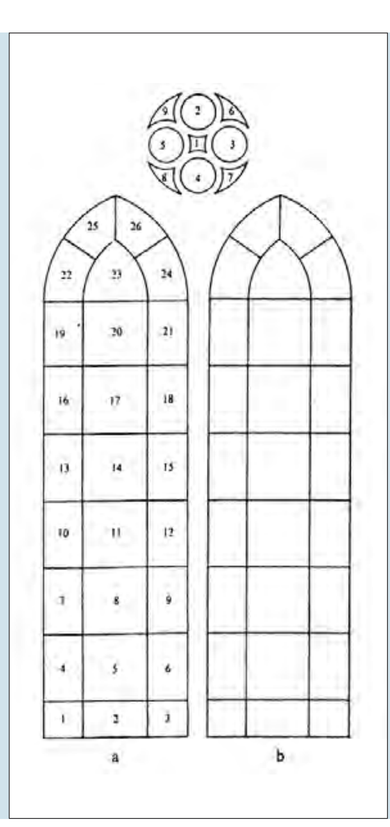
La numérotation se fait en fonction de la **vue intérieure** de la verrière.

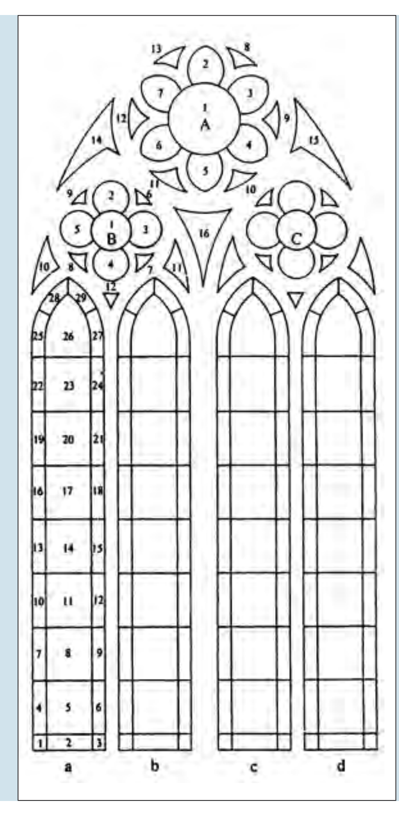
On prend en compte dans une baie les lancettes qui les composent et les roses ou oculus qui les surmontent.

Les panneaux sont numérotés de bas en haut et de gauche à droite, par des chiffres arabes.

Dans les baies à plusieurs lancettes, les lancettes sont désignées par une lettre minuscule, de gauche à droite.

Les oculus et les roses reçoivent une lettre en majuscule et des numéros rayonnants pour les lobes des roses polylobées. Les réseaux des baies flamboyantes sont difficiles à numéroter et les principes de base sont à adapter à chaque cas spécifique.




Exemples de baies vues en élévation avec numérotation des panneaux, selon les normes du Corpus vitrearum. (©. Centre André Chastel, UMR 8150).



Nettoyage de la face externe
d'un panneau au bâtonnet (©.LRMH)

Chapitre 1

# CONSERVATION-RESTAURATION DE VERRIÈRES

## RÈGLES GENERALES ET PRINCIPES DÉONTOLOGIQUES

### 1°. DÉFINITIONS

La **conservation préventive** comprend toutes les actions indirectes sur le cadre architectural et l'environnement de la verrière destinées à prévenir les dommages sur l'œuvre en créant les conditions optimales pour assurer sa préservation dans le temps. Elle inclut les opérations de manutention, transport, stockage et présentation au public.
La **conservation** d'une verrière comprend les interventions directes sur l'œuvre, tendant à prolonger, par des techniques appropriées, la vie de l'œuvre et à retarder sa dégradation.
La **restauration** d'une verrière peut être considérée comme l'ensemble ou partie des travaux tendant à mettre l'œuvre en valeur, et à faciliter sa compréhension tout en respectant ses caractéristiques esthétiques, historiques et physiques[5].

### 2°. RÈGLES GÉNÉRALES

Les règles générales ci-après sont largement inspirées par les directives éditées par le Corpus vitrearum (cf. Généralités 3 D) et le comité scientifique international pour le vitrail de l'ICOMOS, dont nous citons ici quelques extraits :
"La valeur intrinsèque d'un vitrail est égale à celle de toute autre œuvre d'art ou monument patrimonial, et par conséquent sa conservation mérite le même niveau d'attention et de professionnalisme, sans tenir compte de son époque ou de sa valeur marchande. Une verrière en vitrail ne peut être détachée de son environnement. Son contexte historique et matériel, comprenant son cadre architectural, doit être pris en compte dans la programmation et la réalisation de toute opération de conservation. La conservation des vitraux implique par conséquent la collaboration, au sein d'une équipe pluridisciplinaire, de spécialistes tels que (la liste n'est pas limitative), des restaurateurs qualifiés et expérimentés, des historiens d'art, des architectes, des scientifiques, des techniciens du bâtiment et, lorsqu'ils existent, des représentants de services publics en charge de la conservation du patrimoine culturel" [6]

Les verres anciens, ainsi que leur décor, sont particulièrement fragiles et sensibles aux agressions atmosphériques et humaines. Ceci doit inciter à la plus grande vigilance, quel que soit le type d'intervention. De plus la diversité des morphologies des altérations a pour conséquence qu'aucune opération de conservation ou de restauration ne peut être conçue comme une opération de routine.

[5] cf. Ecco Professional Guidelines I / II / III, General Assembly of European Confederation of Conservator's Organisations (ECCO), Brussels, 1 March 2002.

[6] cf. Directives pour la conservation et la restauration des vitraux (cf. annexe 2).

## 3°• RAPPEL DE QUELQUES PRINCIPES DÉONTOLOGIQUES

La conservation comme la restauration impliquent que l'on mette tout en œuvre pour conserver l'intégrité de l'œuvre ancienne dans ses éléments, sa composition et sa place dans l'édifice.

### A • COMPOSITION GÉNÉRALE

Le déplacement de verrières dans le même édifice ne sera envisagé que s'il est appuyé sur une recherche historique poussée, dans le cadre d'une étude globale, et s'il n'occasionne pas de recoupe de verres anciens pour remise à mesures.





Les Riceys (10), église de Ricey-Bas, verrière de la Création, XVIe s.

a. Vue d'ensemble avant restauration (©. D. Alliou).

b. Vue d'ensemble après restauration (Travaux réalisés par l'atelier Vitrail France, sous la direction d'Eric Pallot, architecte en chef des monuments historiques. (©. D. Alliou).

Les remises en ordre de verrières bouleversées ou de panneaux de macédoine ne seront faites qu'avec la plus grande prudence, à l'issue d'une recherche archéologique approfondie.
Le rassemblement dans une même baie de panneaux de provenance, d'iconographie ou d'échelle différentes est vivement déconseillé.
Les compléments de panneaux ou de verrières devront s'intégrer dans l'harmonie générale de l'ensemble, par leurs tons et leurs valeurs, tout en conservant leur lisibilité par un moyen approprié à chaque cas particulier (signature, date, traitement différent de la grisaille, etc.)

## B • RESPECT DE L'ŒUVRE ET DE SON HISTOIRE

On conservera le maximum d'éléments anciens, pièces de verre et réseau de plombs. On préférera toujours un *collage* ou un *montage Tiffany* à un changement de pièce.

Les pièces de restauration anciennes seront conservées. On peut admettre dans certains cas le remplacement de pièces récentes et sans intérêt historique, en accord avec le maître d'œuvre. Les pièces de *bouche-trou*, gênantes pour la lecture de la scène, pourront être, dans certains cas, retirées, en accord avec le maître d'œuvre, à condition d'être restituées à l'administration ou réutilisées dans le même édifice.




Exemple de signature d'une pièce neuve par gravure (©. D. Alliou).

La suppression de *plombs de casse*, destinée à améliorer la lisibilité de l'œuvre, ne doit se faire qu'après observation attentive du montage ancien et des *conduites de plombs*, pour ne pas aboutir à un collage erroné par rapport à la composition d'origine ; elle ne doit pas être systématique, mais procéder d'une réflexion sur l'amélioration visuelle apportée par cette opération et sur la résistance mécanique globale de la verrière.
Les produits de conservation employés devront obéir aux principes essentiels de stabilité et de réversibilité maximales.

La plupart des interventions de restauration en vue d'une mise en valeur de l'œuvre, comprenant de nombreuses suppressions de plombs de casse, collages, comblements de lacunes, réintégrations picturales, ne peuvent être envisagées que si l'œuvre est protégée par une double verrière. En effet les méthodes de restauration complexes, si elles sont employées de façon systématique, demandent une protection contre les agressions de l'environnement.

## C • COMPLÉMENTS DES PARTIES LACUNAIRES D'UNE VERRIÈRE

### a • Lacunes de pièces ou de panneaux

Lorsqu'un *panneau* est lacunaire (verres manquants) ou qu'une verrière est incomplète (panneaux manquants), la recherche d'un équilibre lumineux, et donc d'une meilleure lecture des scènes anciennes, peut amener à combler les *lacunes*, qui forment des trous de lumière, par des pièces peintes ou des panneaux de vitrail neuf.
Cette opération doit être précédée :

- d'une recherche documentaire approfondie (photographies ou descriptions anciennes, frottis, cartons, etc.) ;
- d'un travail sur maquettes et échantillons pour les lacunes importantes.

L'orientation de ces recherches dépendra de la sensibilité du maître d'œuvre et du peintre-verrier. On peut cependant définir quelques principes de base pour guider ce travail :

- la bonne intégration visuelle dans l'ensemble par l'échelle des pièces, les couleurs et les valeurs ;
- la lisibilité de la *réintégration* par tous moyens appropriés (signature, date, traitement différent de la grisaille, etc.), sans perturbation de l'équilibre esthétique de l'ensemble.

Troyes (10), bibliothèque municipale, Entrée d'Henri IV à Paris, vitrail attribué à Linard Gontier, 1621-1624. Réintégration illusionniste d'après documents.

a. Etat avant restauration avec une lacune de pièce gênante (©. C. Courageux).

b. Gravure de Bollery, éditée chez Leclerc en 1606, ayant servi de modèle à la réalisation du vitrail (©. BnF).

c. Etat après restauration, avec réintégration de la lacune d'après la gravure. Dans le cadre de cette opération réalisée en 1986, les plombs de casse n'ont pas été retirés mais seulement amincis (Travaux effectués par l'atelier Courageux, sous la direction d'Isabelle Pallot-Frossard, inspecteur des monuments historiques. (©. C. Courageux).









Pour évaluer correctement la complexité du travail, il importe que le principe de base soit défini avant l'intervention. La mise en œuvre de ce principe doit être le fruit de la collaboration du maître d'œuvre et du maître-verrier :

- en réintégration illusionniste d'après documents (*reconstitution*),
- en réintégration illusionniste sans documents (*restitution*),
- en réintégration lisible par pièces patinées ou peintes,
- en *vitrerie* d'accompagnement, avec ou sans bordures, patinée ou non,
- en création d'accompagnement pour les surfaces importantes (cf. ch. 2, Création de vitraux neufs),
- autre...

### b • Lacunes de grisaille

Les pièces, dont la grisaille est effacée, ne seront **en aucun cas repeintes et recuites**. Cependant, lorsque la lacune est très gênante, on pourra tenter une réintégration picturale :

- soit à froid, avec un produit réversible, de préférence sur la face externe, si elle est en bon état et si, et seulement si, l'œuvre est protégée par une verrière de protection;
- soit à chaud sur un verre de *doublage*, appliqué à l'extérieur du verre ancien (cf. ch. 5, Protections de verrières).

Sur le plan déontologique, on admet généralement que les verres anciens (XII^e^-XVII^e^ s.) ne font pas l'objet de retouches sur le verre lui-même, mais plutôt sur un verre de doublage, ou éventuellement à froid, de préférence sur la face externe, lorsque celle-ci n'est pas dégradée. Les retouches ne doivent pas déborder du champ de la lacune et être parfaitement documentées.

## 4° • CONSERVATION PRÉVENTIVE

Les verrières en vitrail, en raison de leur valeur historique, esthétique ou technique, ainsi que de leur fragilité due à leurs matériaux constitutifs, doivent être protégées des agressions de l'environnement.
Les protections peuvent prendre des formes différentes selon le but recherché :

- *grillages* de protection, contre les chocs divers (projectiles, vandalisme, grêle, oiseaux, etc.),
- verrières extérieures, réalisées en matériaux divers, contre les intempéries, la pollution atmosphérique, la condensation sur la face interne des verres anciens, les chocs également. La protection par une verrière extérieure ventilée, constitue une solution de conservation préventive très généralement adoptée en Europe, avec toutes sortes de variantes quant au mode de ventilation et aux matériaux choisis.

La restauration des systèmes existants ou la création de nouveaux types de protection doivent être systématiquement prévus dans l'opération de conservation ou de restauration, afin de garantir la pérennité de l'ouvrage. La notion de conservation préventive englobe également la surveillance régulière de l'état de conservation de l'œuvre ainsi que les interventions d'entretien sur son environnement architectural.

## 5°• DOCUMENTATION APRÈS TRAVAUX

Toute intervention sur une verrière historique exige l'établissement d'un dossier de restauration parfaitement documenté qui reprenne, sur des relevés précis, accompagnés de photographies, les différentes opérations réalisées telles que, à titre indicatif :

- les nettoyages et traitements *biocides*
- les collages et montages Tiffany
- les consolidations de grisaille
- les compléments de pièces
- les réintégrations de lacunes, etc…

En outre, les différents produits employés seront consignés dans une fiche d'intervention ou un rapport complétant les relevés (Cf. Ch. 6, Dossier documentaire).

Troyes (10), Hôtel Juvenal des Ursins, baie n° O, *La Crucifixion*, dossier de restauration avec relevé des travaux exécutés par Flavie Vincent-Petit (atelier Vinum), sous la direction d'Eric Pallot, architecte en chef des monuments historiques, en 2006 (©. F. Vincent-Petit).





Avant restauration

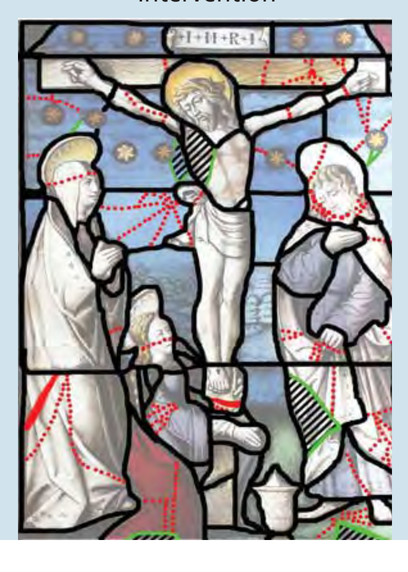


Après restauration

Constat d'état



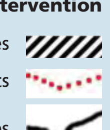
Intervention



**Légendes Constat d'état**

- Restauration utilisant des pièces anciennes
- Pièces remplacées lors de l'avant-dernière restauration
- Pièces remplacées avant le XIXème siècle
- Pièces remplacées lors de la dernière restauration
- Pièces d'origine déplacées
- Casses
- Plomb de casse

**Légendes Intervention**



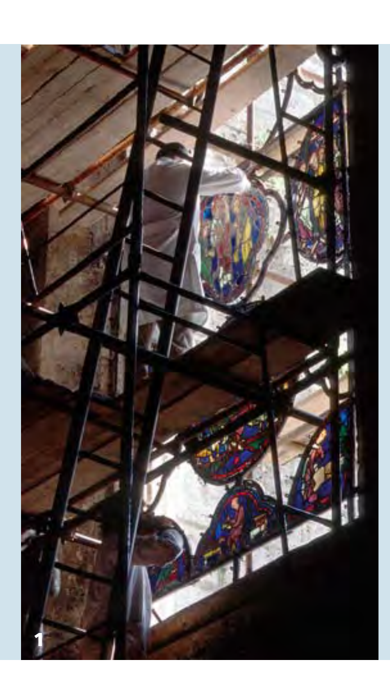
- Pièces remplacées
- Collages et comblements
- Plombs remplacées

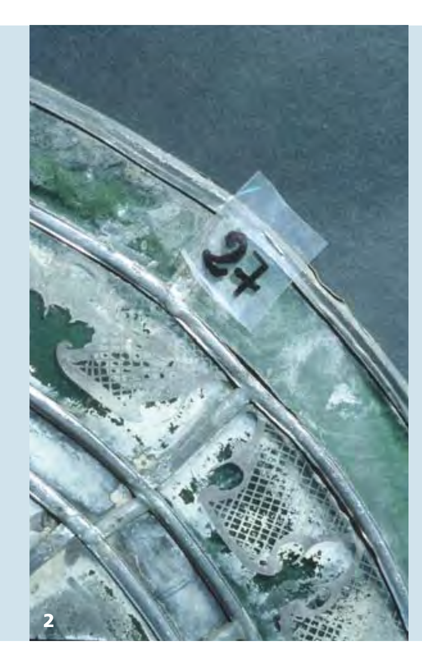
# DÉPOSE ET MANUTENTION

## 1°. ECHAFAUDAGES

L'échafaudage, qui doit être conforme à la législation en vigueur, est installé du côté de la dépose. Cependant un double accès est nécessaire dans tous les cas suivants :

- vitraux fragiles (verres minces, grandes pièces) ou en mauvais état (plombs cassés, verres dessertis ou brisés, etc.),
- double calfeutrement de mortier,
- *solins* posés à bain de *mastic*, et/ou mastics très durs ou collants,
- lorsqu'une fixation provisoire est nécessaire sur la face externe, alors que la dépose se fait par l'intérieur.






1. Chartres (28), cathédrale, dépose de panneaux par l'intérieur (©. LRMH).

2. Marquage de panneau avec une étiquette agrafée sur le plomb d'entourage (©. LRMH).

## 2°. DÉPOSE

### A • FIXATION PROVISOIRE POUR DÉPOSE ET TRANSPORT

Pour les vitraux dont les plombs sont cassés et/ou les verres dessertis, une fixation provisoire peut assurer la tenue du panneau pendant la dépose et les manutentions. Cependant pour les œuvres précieuses, on préfère la dépose précautionneuse sur plateaux, sans fixation.

La fixation provisoire peut se faire par bandes adhésives repositionnables, ne laissant pas de résidus de colle sur les verres et les plombs. L'encollage par des colles animales, vinyliques, acryliques est à proscrire.

La fixation se fait exclusivement sur les zones non peintes, afin d'éviter d'endommager des grisailles fragiles. Les bandes doivent être enlevées dès l'arrivée en atelier, pour éviter les proliférations de micro-organismes dans la colle, ou le transfert de l'adhésif sur les verres.

### B • MARQUAGE DES PANNEAUX

L'étiquetage peut se faire par tout moyen **réversible**, résistant aux manutentions, fixé de préférence sur le réseau de plombs et non sur les verres.

### C • ENLÈVEMENT DES CALFEUTREMENTS DE MORTIER

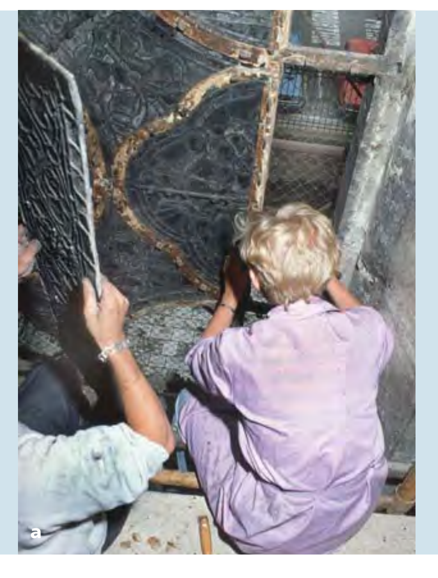
L'enlèvement des calfeutrements de mortiers ne doit pas provoquer de casses de verres, ni d'altération de la pierre. Il se fait à l'aide de petits burins bien affûtés dont la forme dépend de la feuillure.
L'emploi d'outils mécaniques ou pneumatiques est réservé à des cas spécifiques et doit recevoir l'accord du maître d'œuvre.
Les feuillures et rainures doivent être nettoyées avec soin sans endommager la pierre.

### D • ENLÈVEMENT DES SOLINS DE MASTIC

L'enlèvement des *mastics* ne doit pas provoquer de casses de verre. Il se fait à l'aide de petits couteaux. Dans le cas de solins posés à bain de mastic, leur dégagement doit se faire sur les deux faces de la verrière.
L'emploi de produits chimiques, pour ramollir certains mastics, doit être soumis à l'accord du maître d'œuvre.
Les mastics élastomères (au butyle par ex.), restant souples et collants très longtemps, nécessitent des manipulations prudentes au moment de la dépose.

Chartres (28), cathédrale,
a. Baie n° 42, dépose de panneaux par l'extérieur (©. LRMH).
b. Transport de panneaux pour descente au sol dans un caisson vertical (©. LRMH).









### E • ENLÈVEMENT DES ATTACHES

Les attaches sont soigneusement coupées à la dépose. L'arrachage des attaches est prohibé.

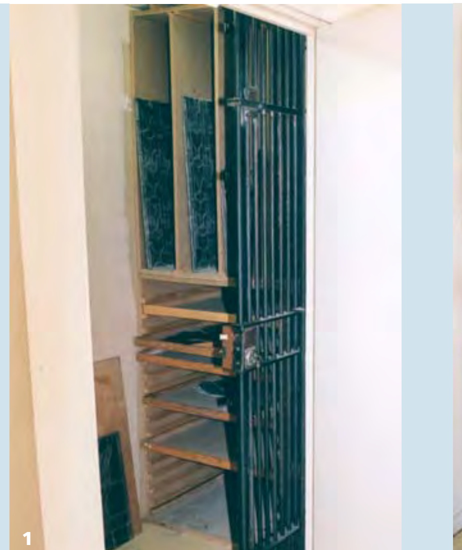
### F • DÉPOSE DE PANNEAUX DE VITRAIL EN CONSERVATION

La dépose d'œuvres fragiles et précieuses nécessite des précautions particulières de manutention. Dans certains cas, il est nécessaire de descendre les panneaux dans des caissons ou sur des plateaux prévus à cet effet.

## 3° • MANUTENTION ET TRANSPORT

### A • EMBALLAGE

Les panneaux doivent être emballés et séparés par un matériau souple amortissant les chocs (mousse de polyéthylène, plastique alvéolé, etc.).
Dans les cas courants, les panneaux sont généralement placés sur des portoirs arrimés.





1. Panneaux stockés dans une chambre forte aménagée. (©. P.A. Parot).

2. Panneaux stockés verticalement dans une caisse avec calage. (©. P.A. Parot).

Dans le cas d'œuvres précieuses et/ou fragiles, les panneaux sont rangés dans des caisses prévues à cet effet, soigneusement isolés et calés.

### B • TRANSPORT

Le transport des panneaux se fait sur des portoirs arrimés ou en caisses. Les panneaux doivent être soigneusement calés et fixés.
Les panneaux en très mauvais état doivent être transportés à plat sur des plateaux superposables.
Le transport d'œuvres de grande valeur historique exige des précautions particulières, comme la présence d'au moins deux personnes dans le véhicule, pour des raisons de sécurité.
Les panneaux transportés doivent être assurés pour la valeur indiquée par le maître d'ouvrage.

## 4° • PRISE DE GABARITS ET MESURES

La prise de *gabarits* et de mesures se fait habituellement au moment de la dépose. Cependant, lorsqu'il y a restauration de la baie, et notamment changements de pierre dans le réseau, une seconde prise de mesures est nécessaire après l'intervention du maçon ou du tailleur de pierre.

## 5° • STOCKAGE DES PANNEAUX EN ATELIER

Les panneaux de valeur historique doivent être entreposés à l'atelier dans une chambre forte, lorsqu'ils ne font pas l'objet d'une intervention. Les panneaux en cours de traitement doivent y être également rangés le soir.

Cette chambre forte a pour objectif de protéger les panneaux contre l'incendie et le vol.
Elle doit être constituée de matériaux incombustibles (M.0) pour les parois et coupe-feu une heure pour la porte. Celle-ci doit être blindée et équipée d'une serrure de sécurité.
L'aménagement intérieur doit être conçu pour ranger facilement les panneaux en cours de traitement (tiroirs horizontaux, portoirs, etc.).
Lorsqu'il s'agit d'un stockage de longue durée, il faut éviter le contact direct entre les panneaux et des matériaux de type bois massif, contreplaqué ou aggloméré, en raison des dégagements possibles de vapeurs acides, dommageables pour les verres.

1. Verrière de présentation en lumière naturelle, dans un atelier de maître-verrier (©.LRMH).

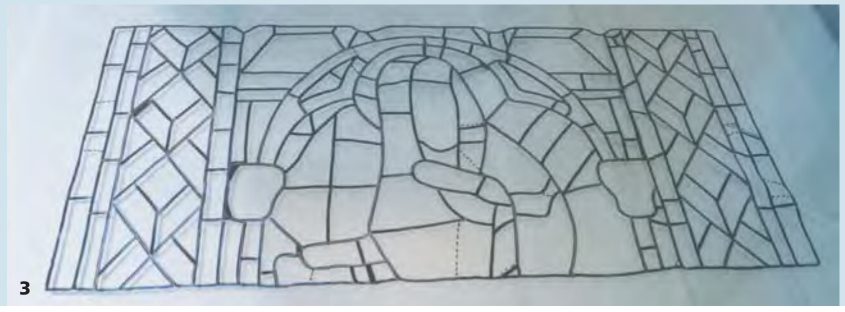
2. Frottis traditionnel sur papier souple (©. I. Pallot-Frossard).

3. Relevé du réseau de plombs au feutre sur feuille transparente d'acétate de cellulose de type Rhodoïd. (©. P.A. Parot).










# CONSERVATION-RESTAURATION

## 1°. TRAVAUX PRÉLIMINAIRES EN ATELIER

### A. SUPPRESSION DES FIXATIONS PROVISOIRES DE MANUTENTION

La suppression des fixations provisoires de manutention se fait avec le plus grand soin, le plus rapidement possible après l'arrivée des panneaux en atelier.

### B. PRÉSENTATION DES PANNEAUX

Le nombre des présentations est variable, en fonction de la difficulté du travail et de l'intérêt de la verrière.
Pour les verrières de valeur historique, est nécessaire dans tous les cas la présentation des panneaux sur table lumineuse ou devant verrière pour examen détaillé avec le maître d'œuvre, avant toute intervention.
Les présentations, notamment pour les panneaux disloqués, impliquent toutes les précautions de manipulation et les mesures de *consolidation* nécessaires.
Les panneaux qui ne font pas l'objet d'une intervention immédiate sont ensuite replacés dans la chambre forte.

Les présentations pour prise de vue avant-après restauration se font habituellement devant un plan lumineux, en lumière artificielle, avec des caches posés tout autour des panneaux pour éviter la surexposition des zones périphériques (cf. ch. 6, Dossier documentaire).
La présentation d'une verrière complète, avec des panneaux en forme, peut demander la construction d'un châssis approprié.

### C • RÉALISATION DE FROTTIS

Le frottis est le relevé exact, à grandeur, du réseau des plombs.
Il s'obtient généralement par frottement d'un corps gras ou sec sur un papier souple posé sur le panneau. Il suppose toutes les précautions nécessaires pour éviter d'endommager les verres ou la grisaille.
Ce frottis est réalisé :

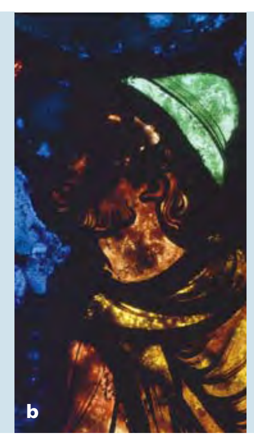
- dans le cadre des travaux d'atelier, en cas de *ressertissage* des panneaux,
- pour reporter la critique d'authenticité, lorsqu'il y a une étude du Corpus vitrearum,
- pour réaliser le rapport d'intervention (attachements figurés),
- pour la réalisation de panneaux de protection en vitrail reprenant le réseau ancien (après *remise en plombs*).

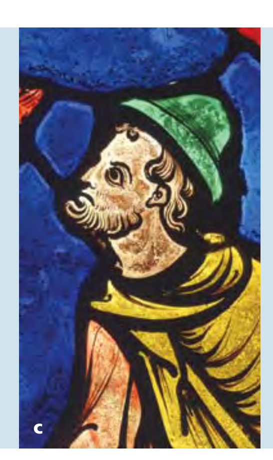
## 2°• NETTOYAGE DE PANNEAUX

Le nettoyage des panneaux de vitrail a généralement pour but :

- de retrouver la lisibilité de panneaux assombris par des dépôts divers, poussières, suies, résidus de mastic, patines artificielles
- d'éliminer la couche de *produits d'altération* à la surface des verres médiévaux, qui a pour effet d'entretenir l'humidité sur la surface des verres, de favoriser la poursuite des altérations et la prolifération des micro-organismes ;




Troyes (10), cathédrale, baie 9,
*Vie de saint André*, XIII[e] s. (©. LRMH).

a. Détail d'un panneau, vue en face externe en lumière réfléchie. On constate la présence d'une altération uniforme avec des produits d'altération opacifiants.

b. Le même panneau vu en lumière transmise, avec perte importante de transparence.

c. Le même panneau après nettoyage chimique, vu en lumière transmise. Le nettoyage a permis l'élimination des produits d'altération et une bonne récupération de la transparence.

Il doit respecter la couche perturbée des verres anciens. Cependant, celle-ci ne constitue pas une couche de protection, mais seulement une zone tampon, et une fois mise à nu, l'altération reprendra si la verrière n'est pas protégée des agents atmosphériques.
La grisaille et les émaux sont particulièrement sensibles aux opérations de nettoyage. Ils demandent une grande vigilance au moment du choix du type d'intervention, qui dépend de la nature des dépôts, et tout au long de l'intervention elle-même.

Les opérations de nettoyage doivent donc être systématiquement précédées d'un examen très attentif de l'état de conservation des grisailles, émaux, peintures à froid, **sur les deux faces du verre**. En effet, des décors ont souvent été appliqués également sur la face externe et, très soumis aux agressions atmosphériques, ils ne subsistent parfois plus qu'à l'état de traces, dont il faut assurer la préservation.

Aucune technique de nettoyage n'est sans risque et cela d'autant plus qu'il s'agit d'un processus irréversible. C'est pourquoi en cas de doute, il est vivement recommandé de consulter le LRMH, même lorsque celui-ci a fait une étude préliminaire.

**Procédés ou produits à exclure formellement :**

- tous les procédés qui rayent, même de façon imperceptible à l'œil nu le verre sain ou le verre altéré (brosse métallique, ponçage, microabrasion),
- tous les produits qui risquent d'attaquer le verre, sa couche perturbée ou ses décors :
  - les acides (fluorhydrique, sulfurique, nitrique, chlorhydrique, etc.),
  - les bases (soude caustique, ou les produits du commerce qui en contiennent, potasse, etc.),
  - les solvants sur les zones comportant des peintures à froid anciennes.

Reims (51), église Saint-Remi,
détail d'un panneau du XIIe s., montrant les traces d'un ancien nettoyage mécanique, probablement à la brosse métallique : les rayures engendrées par ce nettoyage ont favorisé l'altération du verre (©. LRMH).
a. vue en lumière réfléchie.
b. vue en lumière transmise.







### A • NETTOYAGE DE PANNEAUX NON DESSERTIS PAR TREMPAGE

Cette technique tend à être abandonnée pour tous les verres peints, en raison des risques qu'elle fait courir aux verres altérés, grisailles et peintures à froid. Elle est donc strictement réservée aux panneaux en bon état, sans grisaille, de type vitrerie géométrique.
Les rives de panneaux sont nettoyées des résidus de mastic, à l'outil manuel de type scalpel, en prenant soin de ne pas endommager la surface des verres, ou à l'aide de solvants organiques sous forme de gel.

### B • NETTOYAGE DE PANNEAUX NON DESSERTIS, FACE PAR FACE

Ce type de nettoyage doit être adopté :

- pour la plupart des vitraux peints,
- plus particulièrement, quand la face externe est recouverte de produits d'altération qui nécessitent l'application d'un traitement chimique dangereux pour les décors de la face interne.

Lorsque les grisailles sont en perte d'adhérence, pulvérulentes ou décollées, il est indispensable d'opérer leur *refixage* simultanément au nettoyage, en alternance (cf. ch.3, Refixage des grisailles).

## a • Nettoyage de la face externe

En fonction de la nature des salissures et/ou des produits de corrosion, on peut adopter toute une gamme de méthodes de nettoyage, après essais préalables et consultation du LRMH (lorsqu'il n'existe pas d'étude spécifique préliminaire) :

- Nettoyage mécanique à sec ou humide (éponge, brosse douce, pinceau, etc.), contrôlé sur table lumineuse. Dans la plupart des cas, l'emploi du pinceau de fibre de verre est proscrit pour le nettoyage des pièces anciennes, en dehors de quelques cas très particuliers, notamment pour nettoyer les tranches des verres brisés avant collage, ou très ponctuellement pour éliminer un résidu de mastic et sous contrôle à la loupe binoculaire.
- Rinçages à la douchette sous faible pression ;
- Application au pinceau ou pulvérisation, notamment de produits biocides, pour éliminer les micro-organismes ;
- Application de compresses. Celles-ci sont en ouate de cellulose ou en intissé.
- Application de gels.

Diverses solutions peuvent être appliquées sous forme de compresses ou de gels :

- Eau déminéralisée additionnée d'*EDTA* (Ethylène-diamine- tétraacétate de sodium, sel disodique) et d'hydrogénocarbonate d'ammonium, sous forme de gels exclusivement.

La solution d'EDTA est un produit très actif qui ne s'emploie que pour éliminer les produits d'altération solubles (carbonates, sulfates). Il est impuissant ou inutile pour éliminer les autres types de dépôts (poussières, suies, produits d'altération insolubles, etc.).



Nettoyage de la face externe d'un panneau par application d'un gel d'EDTA, pour éliminer des produits d'altération opacifiants (©. LRMH).

La solution obtenue doit être proche de la neutralité (pH 7), à vérifier à l'aide de bandelettes de *papier pH*. Avec le temps la solution devient basique et donc dangereuse pour le verre; en conséquence il faut la contrôler régulièrement et l'éliminer lorsque le pH dépasse 8.
La durée d'application est au maximum de deux heures, au-delà de laquelle la solution est saturée et donc inefficace.

L'EDTA étant un complexant du calcium mais aussi du fer et du plomb qui entrent dans la composition des grisailles, il ne doit en aucun cas être employé sur la face peinte des verres, à l'intérieur comme à l'extérieur. C'est pour cette raison qu'on ne l'emploie que sous forme de gel, afin de limiter son action aux pièces pouvant être traitées de cette façon.

- Eau déminéralisée additionnée de *thiosulfate de sodium*, sous forme de gel ou de compresse. Cette solution peut être utilisée pour solubiliser les produits d'altération de la face externe et de la face interne. Cependant, son innocuité sur la présence de grisaille éventuelle doit être vérifiée par des tests préliminaires et une observation à la loupe binoculaire. Les proportions des différents composants et les modes d'application de la solution sont indiqués dans les fiches techniques établies par le LRMH. En présence de matériaux organiques dans les dépôts, et après consultation éventuelle du LRMH, on peut ajouter un solvant à la solution. Celle-ci doit être neutre et contrôlée régulièrement à l'aide de papier pH.

### b. Nettoyage de la face interne

Après vérification de l'état d'adhérence des grisailles et/ou des émaux, on peut choisir parmi une gamme étendue de techniques, après essais préalables et consultation éventuelle du LRMH (lorsqu'il n'y a pas eu d'étude spécifique préliminaire) :

- Nettoyage mécanique à sec ou humide (éponge, brosse douce, pinceau). Dans la plupart des cas, l'emploi du pinceau de fibre de verre est proscrit.
- Rinçages à l'eau à la douchette sous faible pression ;
- Application au pinceau ou pulvérisation de produits biocides ;
- Nettoyage par tampons imbibés de diverses solutions ou solvants ;




1. Nettoyage de la face externe d'un panneau à l'éponge (©. LRMH).




2. Nettoyage de la face externe d'un panneau à la brosse douce (©. LRMH).




3. Nettoyage sous loupe binoculaire (©. A. Pinto).




4. Nettoyage de la face externe d'un panneau à la pulpe de papier (©. LRMH).




5. Elimination de *microorganismes* sur la face externe d'un panneau par application de produits biocides au pinceau (©. LRMH).




6. Nettoyage de la face interne d'un panneau par application de compresses (©. LRMH).

- Application de compresses ou de gels imbibées :
  - d'eau sans additif,
  - d'eau déminéralisée additionnée de thiosulfate de sodium,
  - de solvants,
  - la présence de grisailles fragiles impose de travailler sous contrôle à la loupe binoculaire.

## C • NETTOYAGE DE VERRES DESSERTIS PIÈCE PAR PIÈCE

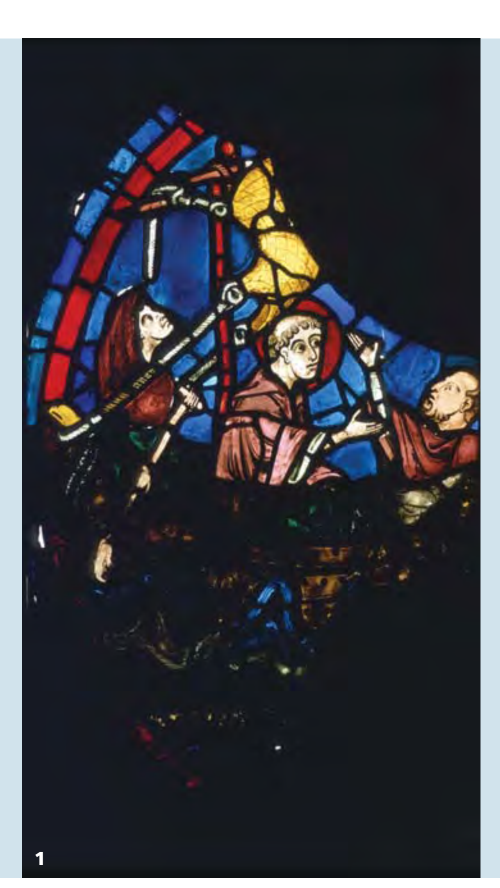
Ce type de nettoyage est adopté, généralement, quand il y a remise en plombs (cependant on peut, dans certains cas, faire des nettoyages verre à verre sans *dessertissage*) :

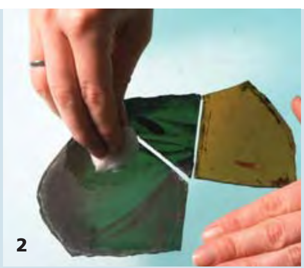
- quand les verres très altérés et fragiles nécessitent un traitement particulièrement fin et précis,
- quand la variété des types d'altération sur un même panneau rend un traitement global inadéquat ou dangereux.

Le type de nettoyage à adopter correspond à l'éventail des techniques décrit au début de ce chapitre (cf. 2.B). Il doit être précédé d'un examen très attentif pièce à pièce.

L'élimination des résidus de mastic sur les rives de pièces se fait à l'outil manuel, de type scalpel, en prenant grand soin de ne pas endommager la surface des verres, la grisaille ou les émaux, ou avec l'aide de gels de solvants.

**Elimination des micro-organismes**
Certains *biocides* ont un effet à la fois curatif et préventif, mais peuvent être incompatibles avec d'autres traitements chimiques. En cas d'emploi de produits combinés, le LRMH sera consulté.










1. Chartres (28), cathédrale, baie 48, panneau du XIIIe s. à demi nettoyé, vue en lumière transmise. Le nettoyage, à l'aide de solvants avait pour but d'éliminer une patine artificielle appliquée sur la face interne (©. LRMH).

2. Nettoyage de la face interne de verres dessertis, pièce à pièce, avec un tampon de coton (©. LRMH).

3. Nettoyage de la tranche d'un verre avec un bâtonnet (©. LRMH).

4. Nettoyage de résidus de mastic sur la tranche d'un verre à l'aide d'un scalpel (©. LRMH).

## 3°. REFIXAGE DE LA GRISAILLE ET/OU DES ÉMAUX

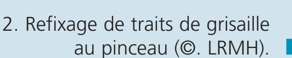
Le but du refixage est de tenter d'assurer la cohésion des traits de grisaille ou des *lavis* et leur adhérence sur le verre support. Cependant **cette opération est délicate et irréversible** : quelle que soit la résine ou le fixatif employé et le solvant, toute tentative ultérieure d'élimination, risque d'entraîner et de faire disparaître la grisaille refixée.
Par conséquent, on réservera cette intervention aux grisailles ou émaux très altérés, pulvérulents ou écaillés, qui présentent peu d'adhérence avec leur support.

Ce traitement ne doit jamais être utilisé à titre préventif. Lorsqu'une verrière présente des grisailles ou émaux fragiles, elle doit impérativement être protégée par une verrière de doublage.

La consultation du LRMH est indispensable avant toute intervention pour déterminer le meilleur produit et ses conditions d'application (lorsqu'il n'y a pas eu d'étude spécifique préliminaire).
Le traitement se fait pièce à pièce, à plat sur table lumineuse, sur panneaux déposés ou verres dessertis. **En aucun cas il ne peut se faire in situ.**
Les surfaces à traiter doivent être parfaitement sèches, car certains fixatifs réagissent avec l'eau.
Les résines de refixages s'emploient généralement en très faibles concentrations dans un solvant (3 à 5%).
Les concentrations prescrites sont celles qui permettent la meilleure diffusion des résines dans la grisaille. Il est inutile et même dangereux de les augmenter. Par contre l'opération peut être renouvelée en fonction de la pénétration du produit dans la grisaille. On ne doit en aucun cas obtenir une surface satinée ou brillante (effet de film).
La résine diluée s'applique le plus souvent au pinceau sur les zones de grisaille ou d'émaux altérés uniquement.
L'opération de refixage implique que l'on prenne toutes dispositions pour éviter les dépôts de poussières jusqu'au séchage de la résine. De plus, il faut limiter au maximum les manipulations de panneaux ou de pièces jusqu'à *polymérisation* complète.
Lorsque la pièce est sale, le refixage est particulièrement délicat : pour éviter, à la fois la perte de grisaille et la fixation des salissures, le nettoyage et le refixage doivent être menés en alternance, en commençant par un premier dépoussiérage, très précautionneux, au pinceau doux ou au coton sur bâtonnet.

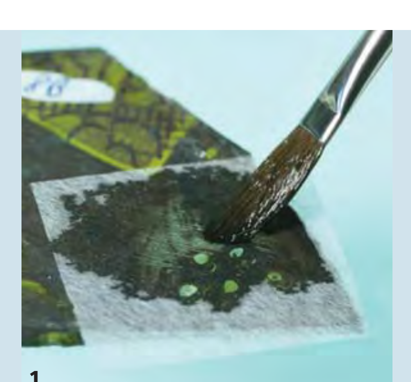
**La recuisson des pièces est rigoureusement interdite**, car elle est inefficace et dangereuse pour la conservation du verre et de la grisaille.

L'usage des solvants exige des précautions particulières d'emploi et de stockage.



1. Refixage de lavis de grisaille fragile, au pinceau, à travers un papier Japon (©. LRMH).

2. Refixage de traits de grisaille au pinceau (©. LRMH).














1. Guengat (29), détail de la verrière de la *Crucifixion*, XVIe s., présence de plombs de casse gênant la lisibilité de la scène (©. LRMH).

2. Opération de dépiquage d'une pièce, réparation et repiquage, sans remise en plombs

a. Soulèvement des ailes de plombs

b. Retrait de la pièce

c. Pièce dépiquée avant réparation par montage Tiffany (©. LRMH).

## 4°. RÉPARATION DE PIÈCES BRISÉES

La réparation de pièces brisées a pour but :

- soit de réparer une casse nette, récente ou ancienne,
- soit de réparer des casses multiples avec ou sans lacunes,
- soit de remplacer des plombs de casse à ailes trop larges, qui nuisent à la lecture des scènes et à la perception du réseau d'origine.

Elle se fait :

- soit à l'occasion du dessertissage complet ou partiel du panneau,
- soit par *dépiquage-repiquage* en soulevant et rabattant ensuite les ailes de plombs, lorsqu'il n'y a pas de remise en plombs.

Cependant il vaut mieux envisager un ressertissage complet ou partiel du panneau (s'il ne comporte pas de plombs anciens), plutôt que des dépiquages multiples qui en affaibliraient la structure :

- lorsque le nombre de pièces brisées dans un même panneau est important,
- lorsque les pièces sont fragiles de par leur épaisseur, leur forme et leurs dimensions,
- lorsque les ailes de plombs sont trop minces.

Le choix de la technique dépend de plusieurs facteurs :

- la nature de la pièce (claire, foncée, *verre plaqué*),
- la nature de la cassure (simple, multiple, *grugée*),
- les conditions de conservation (présence ou non d'une verrière de protection).

## A • RÉPARATION DE PIÈCES BRISÉES PAR POSE D'UN CUIVRE DE CASSE

On emploie généralement le ruban de cuivre étamé dit "montage Tiffany" :

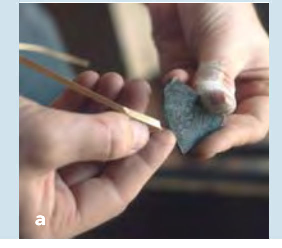
- pour remplacer un plomb de casse qui dénature la lecture d'une scène lorsque les bords de la pièce ne sont pas grugés ;
- pour réparer une casse, ancienne ou récente, dans des zones sombres ou pour des verres plaqués ou émaillés ;
- pour séparer dans une même pièce les parties originales, éventuellement recollées, des parties neuves.

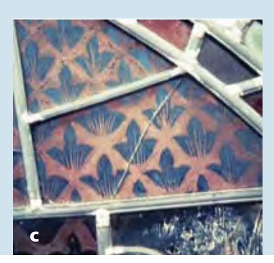



Fleurance (32), verrière de l'*Arbre de Jessé*, par Arnaud de Moles, XVIe s.

a. Détail d'un roi avant restauration

b. Même détail après restauration. Les plombs de casse ont été supprimés et les réparations exécutées avec un montage Tiffany (Travaux réalisés par l'atelier Michel Fleury. ©. M.Fleury).





Réalisation d'un montage Tiffany

a. pose du ruban de cuivre sur le *chant* de la pièce

b. soudure du ruban de cuivre après assemblage

c. exemple de montage Tiffany vu en lumière réfléchie (©. LRMH).

Les chants de la pièce sont d'abord nettoyés de leurs résidus éventuels de mastic, poussières, etc., par un léger grattage et dégraissés par un solvant (de type acétone ou alcool). Le ruban de cuivre adhésif est ensuite appliqué sur les chants des fragments, et soudé à l'étain sur les deux faces.
Le ruban de cuivre ne doit pas être soudé par la suite au réseau des plombs, pour éviter les différences de tensions dans le panneau.

## B • RÉPARATION DE PIÈCES BRISÉES PAR COLLAGE BORD À BORD

Ce type de réparation peut être prescrit pour les casses nettes, anciennes ou récentes, dont les bords n'ont pas été grugés.
En aucun cas, on ne doit meuler les bords d'une casse ancienne avant collage bord à bord. Tout grugeage ancien entraîne un collage avec complément des zones lacunaires (cf. 4.C).
Les chants de la pièce sont soigneusement nettoyés des éventuels résidus de mastic ou de poussières, par un léger grattage, et dégraissés avec un solvant.
Le collage doit rester réversible (avec un solvant ou mécaniquement), mais présenter une adhérence suffisante pour garantir la tenue de la pièce.

Lorsque celle-ci présente une surface importante ou que les casses sont multiples sur une même pièce, il peut être nécessaire de la *doubler*, si l'ensemble de la verrière n'est pas protégé par une double verrière.
Le protocole de collage, qui figure sur les fiches techniques établies par le LRMH, dépend ensuite du type de colle choisi, en liaison directe avec le maître d'œuvre et le LRMH.

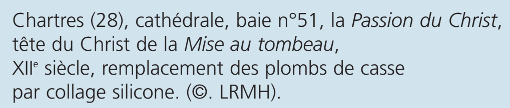
### a • Collage silicone

Les colles silicone s'emploient généralement pour les casses simples ou multiples sans lacunes.









Chartres (28), cathédrale, baie n°51, la *Passion du Christ*, tête du Christ de la *Mise au tombeau*, XII[e] siècle, remplacement des plombs de casse par collage silicone. (©. LRMH).
a. état avant restauration.
b. état après restauration.







Oxford (Royaume-Uni), Trinity collège, panneau d'armoiries, XVII[e] s. (©. E. Learner)
a. état avant restauration.
b. état après réparation des casses par collage époxy avec comblement de lacunes (travaux réalisés par E. Learner).

Ce collage, résistant et souple, n'est réversible que par des moyens mécaniques, après gonflement de la colle à l'aide de solvants organiques.
Selon la couleur de la pièce, on peut employer une colle transparente ou teintée, mais non colorer le collage. On peut éventuellement faire une *retouche* sur la zone de collage avec des produits compatibles avec la colle utilisée.
Les surplus du collage sont éliminés, après polymérisation, par un moyen mécanique, avec le plus grand soin, sans endommager la surface des verres, la grisaille ou les émaux. Il ne doit pas y avoir de bourrelet de colle sur la surface des verres.

### b • Collage époxy

Les colles époxy, de qualité optique, plus fluides, donnent de bons résultats esthétiques en raison des qualités optiques de la colle. On peut teinter facilement la résine avec des colorants compatibles, réaliser des comblements de petites lacunes et des retouches de réintégration par-dessus. Les surplus de colle doivent être éliminés avant polymérisation complète.









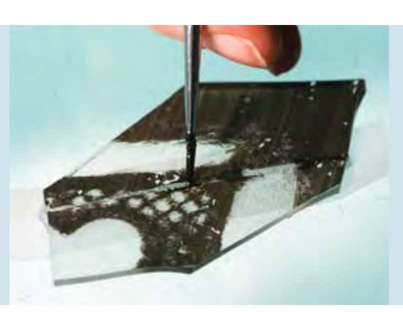

Collection privée, *Anges portant une couronne*, XVIe s., plombs de casse remplacés par des collages epoxy avec réintégrations de lacunes (©. A. Pinto)
a. détail, avant restauration
b. détail, après collage époxy
c. détail, après retouche sur collage (travaux réalisés par l'atelier A. Pinto).

Elles peuvent être utilisées dans certains cas pour consolider une *fissure* ou une cassure, par infiltration lorsque la pièce ne peut pas être dessertie. Cette opération nécessite un dégraissage par solvant.
Le collage est plus rigide, mais reste réversible avec des solvants de type acétone, en phase vapeur.

Cependant ce type de collage est plus fragile sur le plan mécanique et le mauvais vieillissement de la colle en atmosphère non controlée oblige à un emploi prudent. **Il est impératif notamment de n'employer ces colles que lorsque le vitrail est reposé avec une verrière de protection.**







Réintégration de lacunes sur collages. (©. LRMH).

### C • RÉPARATION DE PIÈCES BRISÉES PAR COLLAGE AVEC COMPLÉMENT DES ZONES LACUNAIRES

En cas de casses multiples avec lacunes, ou de pièces cassées et anciennement grugées, on peut faire un collage avec complément des zones lacunaires. Celui-ci ne peut être adopté que si l'on double la pièce, ou si l'ensemble de la verrière est protégé par une verrière de doublage.
Le matériau de bouchage peut être, en fonction des dimensions de la lacune :

- une pièce de verre, si la lacune est importante. Elle peut être peinte et cuite de façon traditionnelle, puis assemblée aux parties originales de la pièce par un montage Tiffany, ou, exceptionnellement, collée avec une colle silicone ou époxy ;
- un bouchage en résine, si la lacune est de petites dimensions et de forme complexe. Il est le plus souvent réalisé en résine époxy, qui, après séchage, peut faire l'objet d'une retouche. Il faut signaler que plus le bouchage est de dimensions importantes, moins l'assemblage sera résistant.

### D • RÉPARATION DE PIÈCES BRISÉES PAR REMPLACEMENT D'UN PLOMB DE CASSE

On ne peut envisager la pose d'un plomb de casse étroit (2 mm environ) que lorsqu'il s'agit de remplacer un plomb existant, trop large, et que la pièce a été antérieurement grugée.

Chaque fois qu'on le peut, il faut préférer à cette opération la pose d'un cuivre de casse ou un collage avec compléments des zones lacunaires.
**En aucun cas, on ne pose un plomb de casse sur une casse nette** en grugeant la pièce.
Après nettoyage soigneux des chants et bords de la pièce, le plomb de casse se pose comme un plomb du réseau principal.

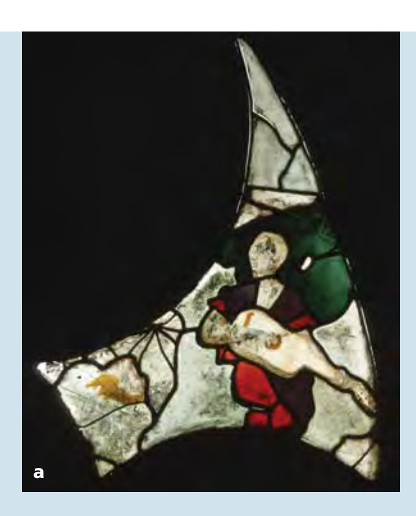
## 5°. DOUBLAGE DE PIÈCES

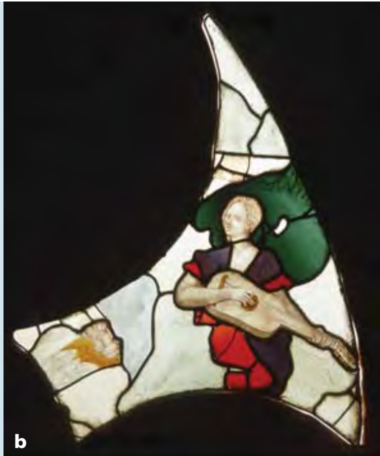
Le doublage d'une pièce doit être limité à deux objectifs :
- renforcer une pièce affectée de casses multiples réparée par collage,
- reprendre le dessin effacé d'une pièce ancienne qui sera vu par transparence.

Le doublage n'a pas pour but de protéger la pièce d'une agression chimique extérieure, et ne peut dispenser de mettre en place une verrière de protection. Il présente le risque d'entraîner ultérieurement des altérations de surface des verres par effet de confinement. **Aussi, doit-il rester exceptionnel** et être réservé aux cas où les casses de la pièce originale ne permettent pas un collage suffisamment résistant (casses multiples, en étoile, avec lacunes, etc.).

En fonction de l'aspect de surface de la pièce ancienne (plat ou irrégulier), le verre de doublage peut être plat ou thermoformé. Son épaisseur est de 2 à 3 mm, en fonction de la taille et de la découpe de la pièce.
La pièce de doublage peut être découpée :
- à la forme et aux dimensions exactes de la pièce ancienne,
- à la forme de la pièce ancienne mais à une dimension très légèrement supérieure lorsque le *sertissage* le permet, de façon à supporter en priorité les contraintes mécaniques ultérieures.

Le thermoformage est réalisé par *cuisson* au four sur une empreinte de la




Longny-au-Perche (61), église, panneau de réseau représentant un ange musicien, XVIe s. (©. LRMH).

a. état avant restauration

b. état après restauration, réparation des pièces brisées par collage silicone et réintégration des lacunes sur verre de doublage (travaux réalisés par l'atelier M. Petit).



Bruyères le Châtel (91), église, tête d'un personnage, cassée et réparée par collage et doublage thermoformé. A droite, le *gabarit* de la pièce, au centre la pièce réparée, à gauche, la pièce de doublage (©. atelier Gaudin).

pièce ancienne, obtenue par pressage sur un lit de plâtre ou de blanc de Meudon tamisés, ou par moulage.
Le verre de doublage peut recevoir un décor de grisaille, de jaune d'argent, de jean cousin, d'émaux, etc., en fonction de l'effet désiré, par transparence à travers le verre ancien altéré. La création de ce décor nécessite une recherche du dessin ancien à la poudre de graphite ou sur documentation photographique.
Il peut également être traité (surcuisson, voile de grisaille, etc.) pour éviter les brillances, en fonction de l'époque et de la transparence du vitrail d'origine.
Les deux pièces sont fixées l'une à l'autre par des points de colle silicone appliqués sur les chants, puis l'ensemble est serti dans le réseau de plombs, sans masticage.

Lorsque la verrière ancienne n'est pas protégée par une verrière de doublage, la pièce de verre thermoformé peut être placée dans le réseau de plombs et la pièce ancienne, fixée en avant du réseau, vers l'intérieur.

## 6°• RETOUCHE À FROID ET PATINES

L'objectif de la retouche à froid est de redonner une certaine lisiblité aux pièces dont la grisaille est très endommagée.

La retouche doit être réservée aux cas extrêmes où la lacune est particulièrement gênante. Elle doit être réalisée dans un matériau facilement réversible, grâce à un solvant dont l'application n'entraîne pas la dégradation d'une zone voisine ayant fait l'objet d'un refixage.

Chaque fois que cela est possible, notamment lorsque la verrière reçoit un doublage de protection, on préférera effectuer cette retouche sur la face externe de la pièce ancienne, pour favoriser la réversibilité de l'opération.
La réintégration de certains verres ou panneaux modernes, visuellement désaccordés avec un ensemble ancien, peuvent nécessiter l'application d'une patine. Celle-ci doit être réalisée à froid dans un matériau strictement réversible.

## 7°• RESTAURATION DU RÉSEAU DE PLOMBS

### A • RÈGLES GÉNÉRALES

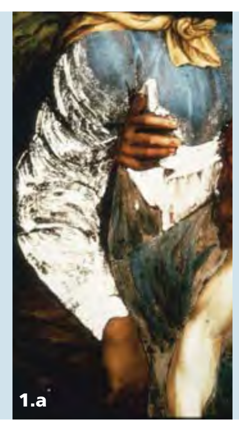
Le réseau des plombs est une partie intégrante de la verrière. Il participe à son esthétique comme à sa tenue. Très sollicité par les agressions extérieures et par le poids même des panneaux, il a été souvent remplacé dans le passé. Cependant il subsiste encore des réseaux anciens, notamment dans les panneaux d'armoiries, de mosaïques de fond ou de jours de réseau, qu'il faut précieusement conserver. De plus, certaines remises en plombs anciennes (XVIe-XVIIe s. par exemple) peuvent présenter un intérêt historique à préserver. Enfin, certains réseaux du XIXe s. sont d'une grande qualité technique et sont proches de l'aspect des plombs d'origine.

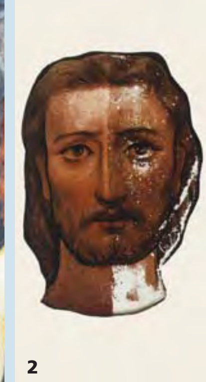
La mise en place d'une verrière de protection peut permettre dans certains cas de conserver des réseaux anciens qui auraient perdu une partie de leur résistance mécanique.

On ne prend donc la décision de remettre en plombs qu'après un examen attentif de l'état du réseau. Cette décision s'appuie sur des raisons :
• techniques, de résistance des panneaux (plombs ouverts, cassés, déformés, etc.),

• esthétiques :
- lorsque l’ancienne mise en plombs n’est pas conforme à l’état d’origine du panneau et le dénature (ailes ou âme trop larges ou trop minces, etc.) ;
- lorsque l’on souhaite supprimer des plombs de casse, notamment lors qu’ils sont très nombreux.

Le ressertissage peut concerner :
• la totalité de la baie,
• certains panneaux seulement,
• certaines parties de panneaux.





1. Mill Hill (Royaume-Uni), église, verrière de la *Déploration du Christ*, d'après Annibale Carracci, émail peint et grisaille sur verre blanc, XIXe s. (©. E. Learner).

a. détail d'une lacune d'émail sur le bras de la Vierge.

b. restitution de la lacune par retouche à froid sur le verre, d'après le modèle original conservé à la National Gallery à Londres (restauration réalisée par Elise Learner en 1991).

2. Tête de Christ, XIXe s. (provenance inconnue), réintégration de lacunes de grisaille par retouche à froid sur la partie gauche du visage (©. LRMH).





1. Evreux (27), cathédrale, panneau d'armoiries, XVe s., ayant conservé ses plombs d'origine, vue en face externe (©. I. Pallot-Frossard).

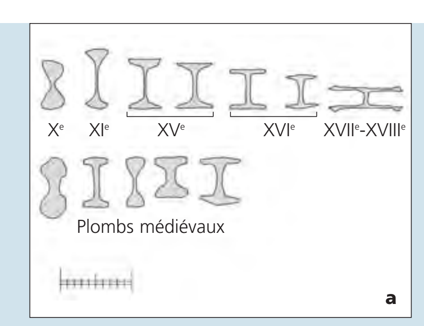
2. Chartres (28), cathédrale, détail d'un panneau de mosaïque du XIIIe s. ayant conservé son réseau de plombs d'origine, vu en lumière réfléchie (©. LRMH).

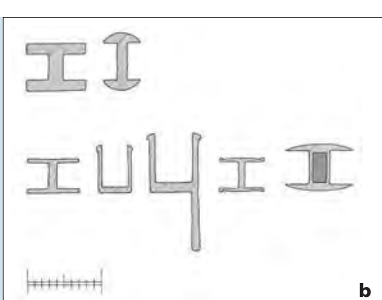
3. Toul (54), cathédrale, détail d'un réseau de plombs comportant des fissures au niveau des soudures (©. LRMH).

4. Guengat (29), église Saint-Fiacre, panneau de vitrail déposé, présentant une déformation très importante du réseau de plombs (©. LRMH).

## B • PLOMBS ET SOUDURES

Relevés de profils de plombs d'après l'étude de Laurence Cuzange-LRMH. (©. E. Pallot).
a. plombs anciens, du XIIe au XVIe s.
b. plombs modernes, XIXe-XXe s.



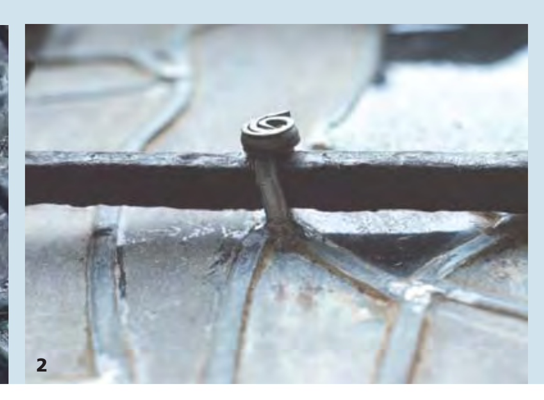






1. Le Mans (72), cathédrale, verrière de l'*Ascension*, XIIe s., vue de détail en lumière réfléchie, montrant des exemples de soudures à l'intersection des plombs (©. LRMH).

2. Le Mans (72), cathédrale, exemple d'attache en plomb soudée sur le réseau de plombs et fixée en rosette autour de la vergette (©. LRMH).




On utilise généralement du plomb neuf, artisanal ou industriel, "demi-dur" ou "demi-mou", qui est suffisamment souple et solide. L'emploi de plomb "dur" est possible pour des vitreries géométriques.
Le remploi de vieux plombs refondus peut compromettre l'homogénéité et la qualité finale de l'alliage obtenu, en raison des différences de proportions d'étain. Il est donc vivement déconseillé.
L'étirage manuel des baguettes (de plus de 1%) avant mise en œuvre, qui fragilise le plomb, est interdit.
**Le profil et la largeur des ailes doivent correspondre à ceux de l'époque du panneau**. Lorsqu'il subsiste des plombs anciens dans la verrière, il est possible de prévoir une fabrication spéciale au modèle ancien.
La hauteur de l'âme varie selon l'épaisseur des verres, notamment des verres doublés. L'épaisseur de l'âme doit être adaptée à la découpe d'origine et en aucun cas les verres ne doivent être recoupés pour les adapter à des plombs standards.
Les verres doivent pénétrer parfaitement dans la chambre du plomb, qui doit en épouser très précisément les contours. Les plombs doivent pénétrer parfaitement les uns dans les autres à leur intersection.
Le rabattage des plombs se fait avec un outil aux bords adoucis (bois, os, plastique) et jamais avec un instrument métallique.
Les soudures, doivent être fines, couvrir parfaitement les intersections et l'aplomb de l'âme des plombs, et passer sous les ailes. La baguette de *soudure* doit contenir 60% d'étain. Les traces de décapant doivent être parfaitement éliminées, à l'aide d'un solvant de type alcool ou acétone.

## C • ATTACHES

Les attaches sont généralement en plomb, mais on peut trouver dans certaines régions des attaches en cuivre.
Les attaches en plomb pour fixation en rosette mesurent 12 à 15 cm de long et 0.3 cm x 0.5 cm de section. Les attaches à souder en bague, employées notamment pour des verrières facilement accessibles, sont proportionnées au diamètre de la *vergette*.

Les attaches en cuivre sont fixées par torsion et coupées court.
Les attaches en fil de fer sont proscrites.



Paris (75), église Saint-Eustache, baie 10, verrière de Prosper Lafaye, XIXe s., remise en plombs partielle d'un panneau (Travaux réalisés par l'atelier I. Baudoin-Louw) (©. LRMH).

## D • RESTAURATION EN CONSERVATION DU RÉSEAU DE PLOMBS

Ce chapitre concerne toutes les interventions sur la périphérie du panneau ou sur le réseau lui-même, qui n'impliquent pas le ressertissage complet :

- changement du plomb d'entourage, qui peut être simple, double ou armé à l'intérieur de l'âme d'un fil d'inox pour une meilleure tenue du panneau ;
- l'établissement ou le remplacement des filets d'encadrement ou de scellement, notamment dans le cas de remise à mesures ;
- les dépiquages-repiquages pour changement ou réparation de pièces ;
- le ressertissage d'une partie limitée du panneau (bordures par exemple). Dans ce cas, il faut éviter au maximum l'inconvénient des plombs non croisés ;
- Les soudures de consolidation d'un réseau conservé.



Les Riceys (10), église de Ricey-Bas, baie 103, *La Création*, Remise en plombs sur table lumineuse (©. D. Alliou).

### E • REMISE EN PLOMBS

Ce chapitre concerne le dessertissage et le ressertissage complet du ou des panneaux.
Le dessertissage doit se faire avec le plus grand soin pour éviter les casses de verres. Dans certains cas, l'utilisation de solvants organiques, sous forme de gels, peut faciliter le dessertissage.
Le dessertissage par fusion totale ou partielle des plombs est strictement interdit.
Les rives de pièces sont soigneusement nettoyées manuellement en prenant soin de ne pas altérer la surface des verres.
Le ressertissage fait appel aux règles de l'art du métier traditionnel de maître-verrier qui ne sera pas rappelé ici.

### F • PATINE DES PLOMBS

Les plombs et soudures neufs peuvent être patinés par application d'une teinte superficielle, et non par oxydation artificielle avec un produit acide, qui peut entraîner une altération du plomb et des verres avoisinants.

## 8°• MASTICAGE DES PANNEAUX

Le *masticage* des panneaux est habituellement destiné à assurer l'étanchéité et la rigidité des panneaux. Cette étanchéité est liée à la quantité de mastic introduite sous les ailes mais un excès de mastic peut rendre difficiles les dépiquages et dessertissages ultérieurs de pièces. Il se fait :
- soit à la brosse avec un mastic semi-liquide,
- soit à la spatule ou au pouce sous les ailes de plombs.

Cependant l'application à la brosse d'un mastic semi-liquide sur des verres ou des grisailles altérés sur leurs faces interne et/ou externe pose de nombreux problèmes :
- Les résidus de carbonate de calcium et d'huile en surface et ceux qui pénètrent, soit dans les cratères d'altération, soit dans les grisailles poreuses, deviennent extrêmement durs avec le temps et très difficiles à éliminer. De plus, le dépôt de carbonates sur la face externe peut se transformer en sulfates sous l'action de la pollution, entretenir une humidité pernicieuse à la surface des verres, et favoriser la poursuite de l'altération.
- Les procédés d'application et de nettoyage du mastic risquent d'endommager les grisailles fragiles, et de compromettre les refixages.

**⚠ C'est pourquoi, il est interdit, pour tous les vitraux peints, d'appliquer du mastic sur la grisaille et sur la face externe lorsque celle-ci est altérée.**

On peut néanmoins procéder :
- soit en ne mastiquant que la face non peinte, quand elle n'a pas de cratères, les plombs étant rabattus sur l'autre face ;
- soit en employant un mastic élastomère, ou un mastic à l'huile de lin de consistance pâteuse appliqué au pouce ou à la spatule.

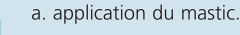
### A • MASTICAGE À LA BROSSE

Le masticage à la brosse se fait avec un mélange de blanc de Meudon (carbonate de calcium), d'huile de lin pure et éventuellement d'un siccatif. Il doit néanmoins contenir le moins de siccatif possible, pour éviter le durcissement dans le temps.

Les siccatifs à base de litharge, de céruse ou de minium sont proscrits.
Semi-liquide, l'application se fait généralement à la brosse, sur plombs rabattus. Dans ce cas, il faut s'assurer que l'application a permis une pénétration suffisante et régulière du mastic sous les ailes.
Le nettoyage des résidus sur les verres se fait au chiffon avec le plus grand soin, suivi d'une finition au chiffon imbibé d'alcool ou d'acétone de façon à éliminer toute trace de matière grasse.
Le temps de séchage des panneaux est au moins de deux mois.





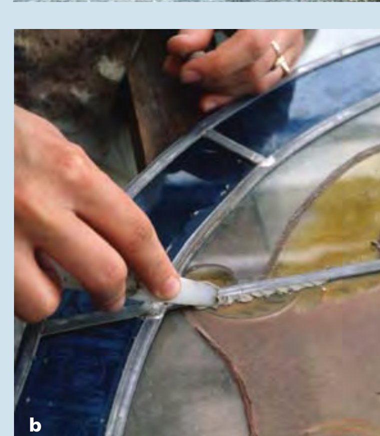


Masticage traditionnel à la brosse avec mastic liquide.
Ce type de masticage est exclus
pour tous les vitraux peints (©. LRMH).

a. application du mastic.

b. nettoyage du mastic à la sciure de bois et à la brosse.





Masticage avec un mastic de consistance pâteuse appliqué sous les ailes de plombs (©. LRMH).

a. application au doigt.

b. application à la spatule.

## B • MASTICAGE AU POUCE OU À LA SPATULE

On emploie généralement pour tous les vitraux anciens et ceux plus récents, qui posent des problèmes de conservation, un mastic de consistance pâteuse, qui se repousse sous les ailes des plombs ouverts, au pouce ou à la spatule, et ne laisse donc pas de résidus sur les verres. Il s'agit d'un travail long et minutieux.
On peut utiliser :

- soit un mastic de consistance pâteuse à l'huile de lin,
- soit un mastic élastomère qui présente l'avantage de rester souple dans le temps, mais peut se révéler difficile à éliminer par la suite.

L'élimination d'éventuels résidus sur les verres se fait à l'aide d'un solvant de type alcool.

> Lorsque la verrière est très altérée sur ses deux faces, on peut éviter complètement le masticage, à condition que le projet prévoie une protection par une double verrière qui assumera elle-même la fonction de clôture étanche de l'édifice.



**Villenauxe-la-Grande (10), église, baie 3, création de David Tremlett, réalisée par l'atelier Marq à Reims, en 2005 (©. B. Marq).**

Chapitre 2

# CRÉATION DE VITRAUX NEUFS

## 1°. GÉNÉRALITÉS

La recherche préalable et la présentation du projet varieront notablement selon qu'il s'agit de vitreries géométriques ou de verrières de composition libre. Cependant ce travail préliminaire exige une prise de connaissance approfondie des lieux où viendra s'insérer la création :

- composition de la baie (dimensions, style, divisions internes),
- situation de la baie dans l'édifice (hauteur, orientation),
- architecture de l'édifice (volume, époque, luminosité générale),
- présence de verrières anciennes ou contemporaines,
- affectation ou utilisation de l'édifice, etc.

### A. ETUDE DE VITRERIES GÉOMÉTRIQUES OU ORNEMENTALES

#### a. Recherches et maquettes

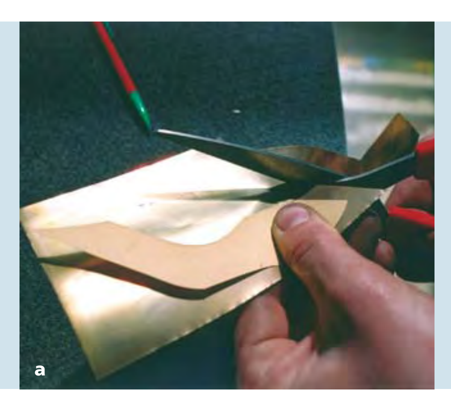
Le type de vitrerie choisi est indiqué au CCTP :

- lorsque la composition précise de la verrière figure dans les pièces graphiques, celle-ci doit être réalisée par le maître-verrier après avoir vérifié les cotes sur place ;
- lorsque la composition précise n'y figure pas, celle-ci doit être étudiée par le maître-verrier, en tenant compte de la structure de la baie (réseau et serrurerie), et proposée au maître d'œuvre.

Le projet est généralement présenté sous forme de maquette au 1/10° et d'un panneau échantillon.
Le respect des axes entre les différents compartiments de la baie s'impose.

#### b. Tracés

Selon la qualité du rendu souhaité, le travail de tracé est plus ou moins important :
• Pour les vitreries géométriques simples et droites (losanges, rectangles, carrés, navettes), coupées à la *pige*, il n'est pas nécessaire de tracer l'ensemble de la baie ; on se contente de tracer un panneau-type, ainsi que l'ensemble des panneaux de forme.







Découpe des pièces d'une verrière ornementale au *clinquant* (©. LRMH).
a. découpe du clinquant en cuivre,
b. découpe de la pièce d'après le clinquant.

Cependant, dans certains cas, le maître d'œuvre prévoit le *calibrage*, et donc le tracé complet d'une verrière géométrique simple, pour obtenir une certaine irrégularité des lignes de la composition.

- Pour les vitreries géométriques très complexes (verrières ornementales de type cistercien ou en grisaille), la coupe peut être faite au *clinquant* (tracé partiel) ou au calibre (tracé complet).

L'établissement de *filet* de scellement est nécessaire, pour permettre une dépose ultérieure plus aisée des panneaux.

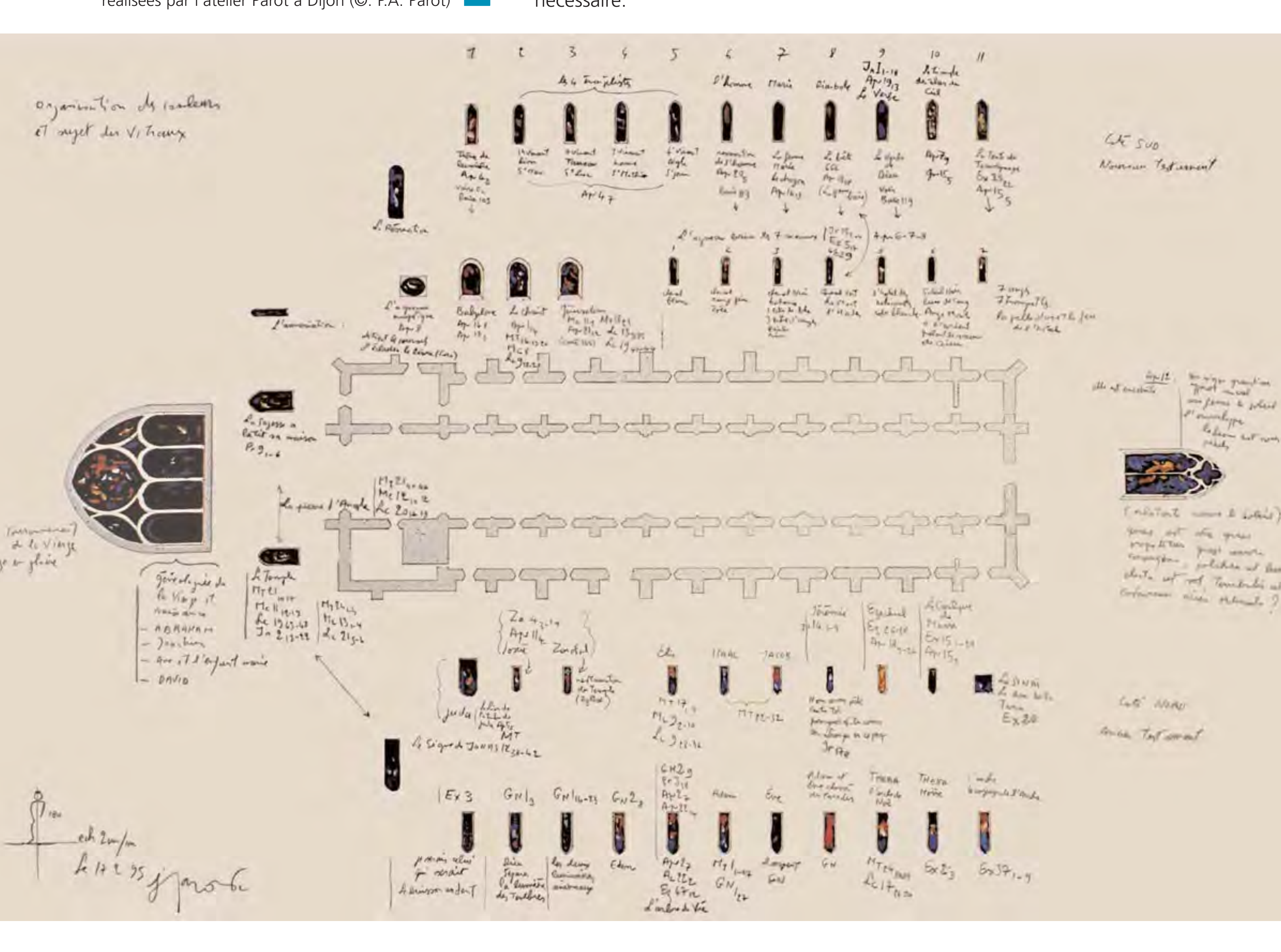
## B • ÉTUDE POUR LA CONCEPTION ET LA RÉALISATION DE VERRIÈRES DE COMPOSITION LIBRE

Dans le cas où le projet comprend la conception et la réalisation d'une verrière neuve, dans le cadre d'un programme formel et/ou iconographique établi par le maître d'œuvre et approuvé par le maître d'ouvrage, le créateur peut présenter un projet sous plusieurs formes :

- esquisses, généralement au 1/20°, proposant un plan de coloration et de composition pour un ensemble de baies ;
- maquettes, généralement au 1/10°, pour chaque baie, comprenant ou non la mise en plombs. Le support est le plus souvent opaque ;
- un ou plusieurs panneaux d'essai qui comporteront toutes les données nécessaires à l'appréciation des responsables :
  - matière et coloration du verre,
  - tracé de coupe,
  - largeur des plombs,
  - peinture.

Une présentation sur place avec occultation suffisante du reste de la baie est nécessaire.

Talant (21), église Notre-Dame, création d'un ensemble de verrières de composition libre, par Gérard Garouste, réalisées par l'atelier Parot à Dijon (©. P.A. Parot)

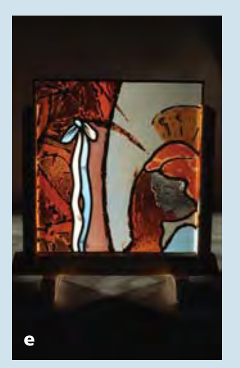




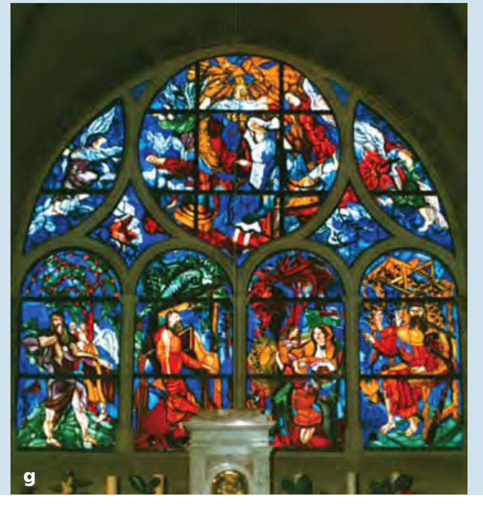












a. maquette au 1/10 de la verrière Est.

b. travail sur le carton à grandeur d'exécution

c. choix de coloration de verres, collaboration étroite entre l'artiste créateur et le maître-verrier

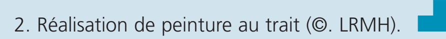
d. fabrication de verres spécifiques par soufflage de cives de couleur de grandes dimensions

e. panneau d'essai

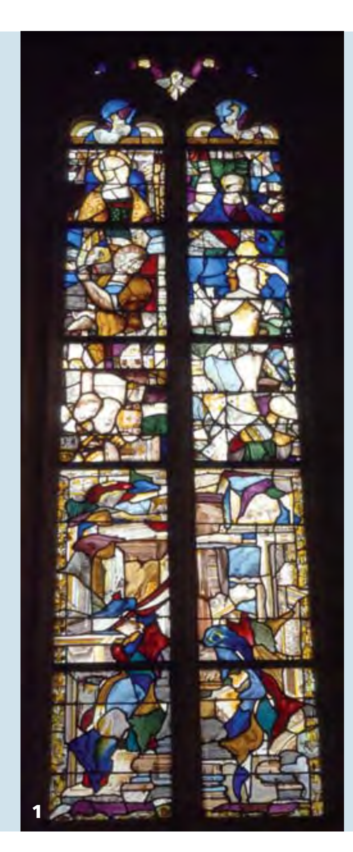
f. application de la grisaille par le créateur Gérard Garouste.

g. La verrière Est réalisée, en place.

1. Fontaine-sur-Somme (80), église, verrière comprenant en partie haute des fragments anciens et en partie basse une création d'accompagnement par Sylvie Gaudin (©. S. Gaudin).



2. Réalisation de peinture au trait (©. LRMH).







### C • ETUDES POUR LA RÉALISATION DE VERRIÈRES DE COMPOSITION LIBRE

Dans le cas où les maquettes ont été conçues par un créateur indépendant, et approuvées par le maître d'ouvrage et le maître d'œuvre, l'atelier chargé de la réalisation conserve une part importante de recherche personnelle en liaison étroite avec le concepteur :

- de coloration, choix de verres,
- de tracé de coupe,
- de peinture.

La réalisation devra prendre en compte les principes de stabilité et de solidité des panneaux, dont la maîtrise appartient au métier de maître-verrier.
Le projet de réalisation prend généralement la forme d'un *carton* de travail à l'échelle 1/1° et d'un panneau d'essai qui sont présentés pour approbation au créateur et au maître d'œuvre.

## 2°• PRISE DE MESURES

La prise de mesures, d'aplombs et de niveaux sur place doit être faite avec la plus grande précision, à l'aide de gabarits pour les formes complexes (barlotières en forme ou jours de réseau).
Quand il y a restauration de la pierre de la baie ou de la serrurerie, une seconde prise de mesures est nécessaire après l'intervention du maçon et/ou du serrurier.

## 3°• CHOIX DES VERRES

La nature du verre est généralement précisée au CCTP.
Le projet de coloration doit cependant être présenté au maître d'œuvre, sous forme d'échantillons de verre, ou d'un panneau d'essai.



Palette de coloration utilisée pour le choix des verres (©. B. Marq).

## 4°. PEINTURE SUR VERRE

Les techniques de la peinture sur verre appartiennent aux règles de l'art du maître-verrier qui ne sont pas rappelées ici.
Les qualités requises par le service des Monuments historiques sont essentiellement, outre le résultat esthétique, **la durabilité**. Celle-ci dépend du respect de certaines règles de composition du matériau, d'application et de cuisson.

### A . COMPOSITION ET APPLICATION

#### a . Les grisailles

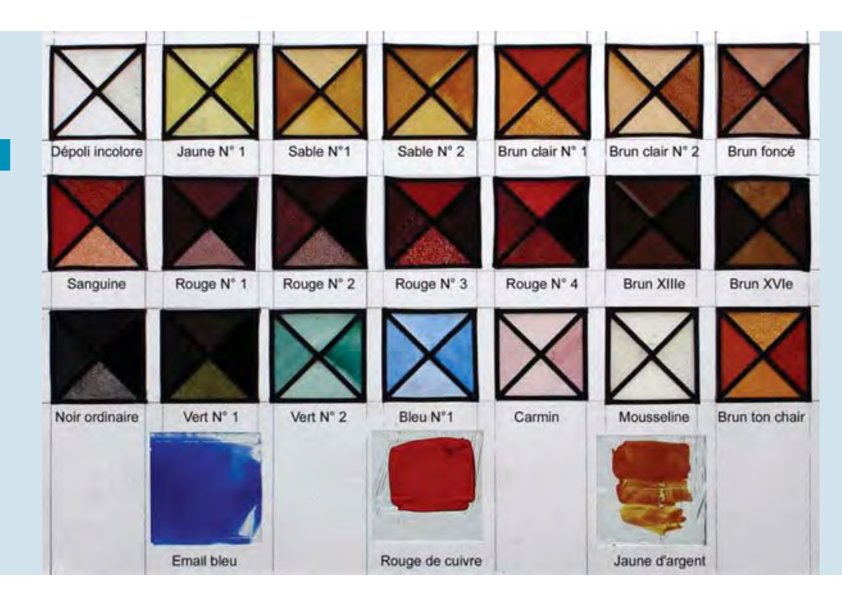
La granulométrie des composants (oxydes métalliques et fondant) doit être suffisamment fine pour obtenir un mélange homogène.
La proportion de la matrice vitreuse, dite fondant, par rapport à celle des oxydes, doit être suffisante pour permettre un bon enrobage des grains d'oxydes. Les grisailles fournies par les fabricants ne doivent donc en aucun cas être modifiées par l'apport, en atelier, soit de fondant, soit d'oxydes métalliques.
Aucun produit, qui laisserait des résidus après la cuisson, ne doit être ajouté aux grisailles (ex. bicarbonate de soude, borax ou borate de soude).



Grisailles formulées par l'atelier Debitus en relation avec le LRMH (©. H. Debitus).

### b • Les émaux

Il faut impérativement utiliser des émaux formulés **pour le verre**. Les limites de leur coefficient de dilatation doivent correspondre à celles du verre support. On ne doit pas leur ajouter de fondant ou d'émail de nature différente qui modifierait leur coefficient de dilatation.




Palette de grisailles, émaux et jaune d'argent formulés par l'atelier Debitus en relation avec le LRMH (©. H. Debitus).

## B • CUISSON

La température à atteindre dans le four doit permettre la fusion du fondant et sa réaction avec le verre support. Pour une bonne adhésion, elle doit être supérieure à la température de transition vitreuse du verre (qui se situe pour le verre soufflé, entre 440 et 530°C) et proche de sa température de ramollissement (630°C).

Les températures de cuisson sont généralement, pour le verre soufflé, de :

- grisailles ≥ 630°C environ,
- jaune d'argent ≥ 580°C,
- émaux ≥ 630°C.

La cuisson des émaux se fait hors plâtre. Les émaux qui ne supportent pas ces températures sont à proscrire.

La vitesse de refroidissement du verre doit être suffisamment lente pour éviter l'apparition de tensions internes dans le verre lui-même, la grisaille ou les émaux. A partir de la température supérieure de recuit (environ 550°C), la descente en température ne doit pas dépasser 3°C par minute (pour un verre de 4 mm), jusqu'à la température inférieure de recuit (environ 440°C). La vitesse de refroidissement ultérieur doit être lente également pour éliminer les contraintes (un palier d'1h à 380°C est souhaitable).

Dans les fours à forte inertie thermique, une descente naturelle en température, régulière et contrôlée, de 12h environ, peut donner un résultat équivalent.

Les grisailles et émaux ne doivent pas présenter de *faïençage* après la cuisson.

## 5° • SERTISSAGE

Le sertissage appartient également aux règles de l'art du maître-verrier.

Cependant, une mise en plombs solide et durable exige :

- un montage serré où les verres pénètrent parfaitement dans la chambre du plomb ;

- une bonne pénétration des plombs les uns dans les autres à leur intersection ;
- pour les vitreries :
  - un montage à plombs croisés alternés, pour les losanges,
  - un montage en marche d'escalier, pour les carrés ou rectangles,
  - un montage en *ailes* de moulin pour les *bornes à navettes*.

Pour toute vitrerie à coupes rectilignes, le montage "en ligne" est interdit.

- Pour les verrières de composition libre, un montage, prévu lors du tracé, qui garantisse la stabilité du panneau.

Le rabattage des plombs se fait avec un outil à bord adoucis (bois, os, plastique) et jamais avec un outil métallique.
Les soudures, doivent être fines, couvrir parfaitement les intersections et l'aplomb de l'âme des plombs, et passer sous les ailes. La baguette de soudure doit contenir 60% d'étain. Les traces de décapant doivent être parfaitement éliminées.
Les plombs d'*attache* pour fixation en rosette ont de 12 à 15 cm de long et 0,3 x 0,5 cm de section. Les attaches à souder en bague ont une longueur proportionnée au diamètre de la vergette.

## 6°. MASTICAGE

Le masticage des panneaux est destiné à assurer l'étanchéité et la rigidité des panneaux.
Pour les vitreries ou verrières de création neuves, on emploie généralement le mastic traditionnel semi-liquide, composé d'un mélange de blanc de Meudon, d'huile de lin pure et d'un siccatif. La proportion de siccatif doit être la plus faible possible (< 3%) pour éviter le durcissement dans le temps. Les siccatifs à la litharge, à la céruse ou au minium sont à proscrire.
Semi-liquide, l'application se fait généralement à la brosse, sur plombs rabattus. Dans ce cas, il faut s'assurer que l'application a permis une pénétration suffisante et régulière du mastic sous les ailes.
Le nettoyage des résidus sur les verres se fait au chiffon avec le plus grand soin. L'emploi de sciure de bois ou de blanc de Meudon est interdit pour toutes les verrières peintes.
Le temps de séchage des panneaux est au moins de deux mois.



Paris (15e), église Notre-Dame
de l'Arche d'Alliance,
pose d'une verrière de Martial Raysse,
réalisée par l'atelier Fleury en 2001
(©. J.D. Fleury).

Chapitre 3

# POSE DE PANNEAUX DE VITRAIL

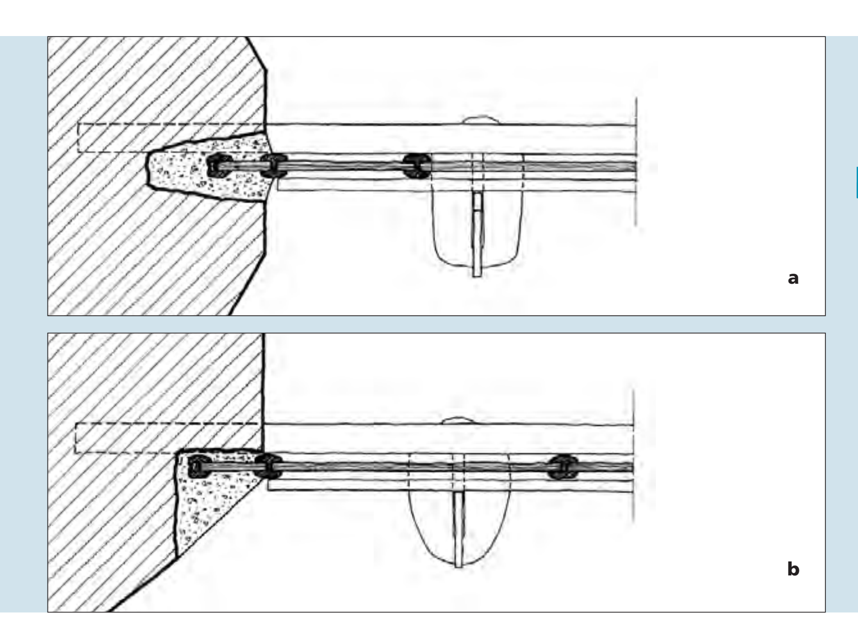
## 1°. *POSE* DANS LA BAIE

### A • POSE EN FEUILLURE

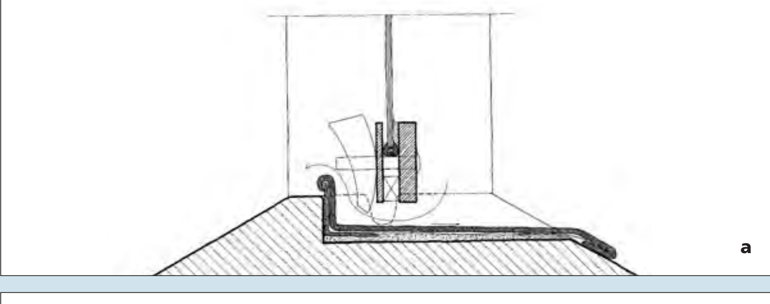
La largeur de repos du panneau dans la feuillure doit être au minimum de 15 mm. Cependant, dans certains cas, précisés au CCTP, cette dimension ne peut être atteinte, et la largeur des calfeutrements doit en tenir compte.

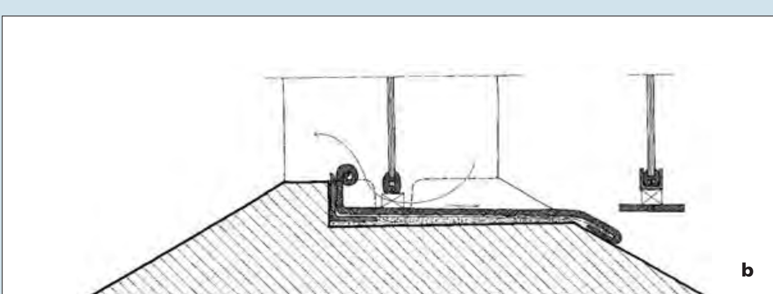
### B • POSE EN RAINURE

La largeur de repos du panneau dans la rainure doit être au minimum de 15 mm (en cas de réfection à neuf du réseau). Lorsque les panneaux ont une forme telle que le dévêtissement en rainure n'est pas possible, le panneau est réalisé à la dimension de la vue. On peut alors poser en périphérie un plomb à aile rabattable.
La pose de calfeutrements sur les deux faces est nécessaire.




Pose d'un panneau de vitrail dans la maçonnerie de la baie,
a. pose en rainure,
b. pose en feuillure. (©. E. Pallot).




Pose d'un panneau sur l'appui de la baie, avec *rejingot* pour l'évacuation des eaux de condensation
a. avec barlotière basse,
b. sans barlotière, avec calage du panneau bas. (©. E. Pallot).

D'une façon générale, les panneaux, qui doivent être entourés d'un plomb de *bordure*, sont ajustés pour reposer au maximum sur la pierre, sans être bridés latéralement. C'est pourquoi la prise de gabarits doit être la plus précise possible.
Les joints d'étanchéité synthétiques de type silicone, en raison des difficultés de dépose ultérieure, doivent être proscrits.

#### C • POSE EN TABLEAU

Lorsqu'il n'y a ni feuillure ni rainure, on peut poser en périphérie du panneau un plomb d'entourage à aile rabattable, pour assurer une meilleure étanchéité.

### 2°• SOLINS DE MASTIC SUR ARMATURE

On peut employer deux types de mastics :

#### A • MASTIC TRADITIONNEL

Il est à base d'huile de lin et de blanc de Meudon sans siccatif. On le pose généralement entre le fer extérieur et le panneau. On peut également effectuer une pose à bain de mastic, c'est-à-dire entre fer plat et panneau et entre panneau et *feuillard* de façon à obtenir la meilleure étanchéité à l'eau vers l'extérieur. Pour les panneaux anciens, non protégés par une verrière extérieure, on l'applique généralement du côté du feuillard, afin de faciliter une dépose ultérieure.

#### B • MASTIC ELASTOMERE

Le mastic élastomère (de type mastic au butyl) n'est posé qu'entre le panneau et le feuillard pour faciliter la dépose ultérieure. En effet le butyl, dont l'étanchéité a une bonne durabilité, reste souple et adhérent très longtemps.
Les mastics de type silicone, les mortiers à base de ciment sont proscrits.

### 3°• ATTACHES

Les attaches sont fixées en rosette ou en bague autour de la vergette, de telle sorte qu'il n'y ait pas de jeu entre vergette et panneau. Le niveau de la vergette et celui des attaches doivent correspondre avec précision.

### 4°• POSE DES VERGETTES

#### A • POSE SUR PIERRE OU MAÇONNERIE

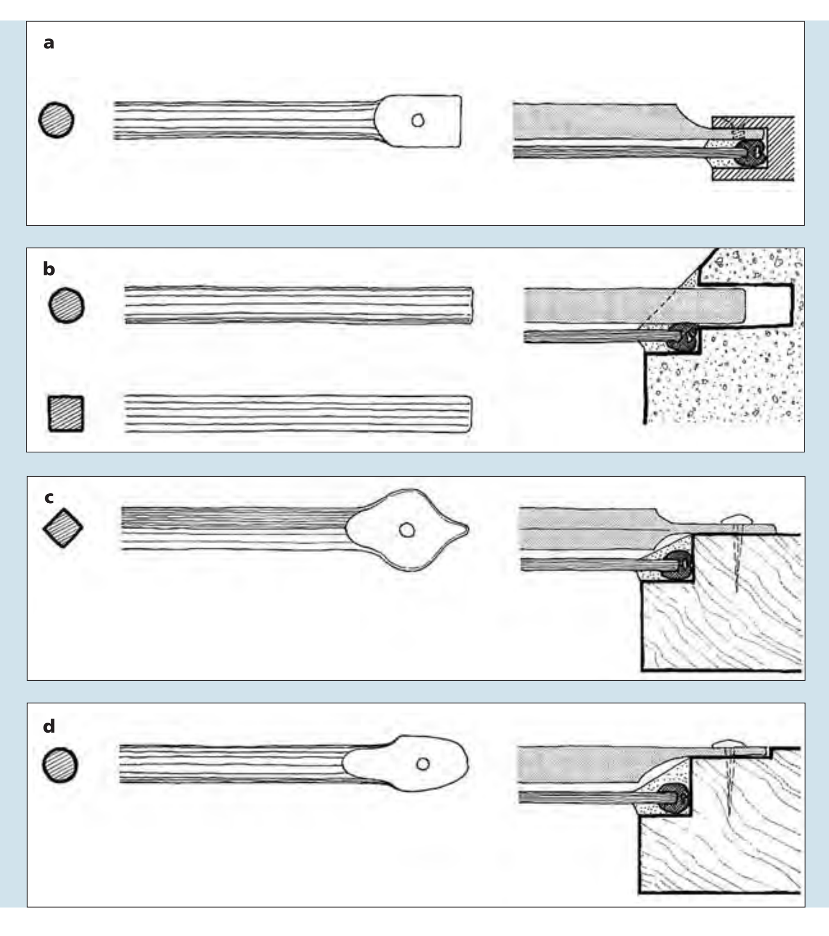
Les vergettes sont posées, après la mise en place du panneau, et fixées aux extrémités dans la maçonnerie ou la pierre, et non simplement maintenues par le calfeutrement de mortier. Elles sont appliquées contre le panneau sans déformation de celui-ci.

#### B • POSE SUR CHÂSSIS EN BOIS OU EN MÉTAL

Les abouts de vergettes sont percés avant la pose des panneaux, puis les vergettes sont appliquées contre le panneau et fixées sur le châssis.

### 5°• CALFEUTREMENT DE MORTIER

Les calfeutrements sont réalisés soigneusement, généralement avec un mortier de chaux aérienne et de sable (cf. fascicule technique "maçonnerie").
L'emploi de ciment est prohibé.




Pose des vergettes

a. sur châssis métallique

b. dans la maçonnerie avec aménagement d'orifice de maintien

c. et d. sur menuiserie bois en feuillure ouverte. (©. E. Pallot).



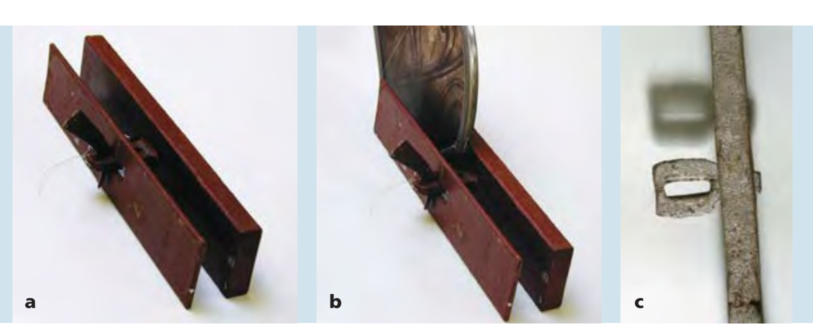
Bourges (18), cathédrale, baie 3, armature composée du XIIIe s. (©. LRMH).

Chapitre 4

# ARMATURES DE VERRIÈRES

La sauvegarde des vitraux ne dépend pas uniquement de la conservation des verres, mais également de l'état des armatures, responsables bien souvent de dégradations physiques importantes.
Bris de verres, dessertissages de pièces, infiltrations d'eau sont le résultat d'une déformation des panneaux insuffisamment maintenus par une armature corrodée. La conséquence de l'oxydation des armatures métalliques et de l'humidité due aux infiltrations d'eau en est parfois l'éclatement de la maçonnerie des ébrasements et/ou des réseaux.
La vitesse de corrosion des armatures est fonction de la composition du métal, de son mode d'élaboration, des cycles d'humidification-séchage, de la pollution atmosphérique (zone industrielle, urbaine, rurale ou marine), de l'efficacité des systèmes de protection appliqués (revêtement métallique et/ou peinture) et de la périodicité des travaux d'entretien.

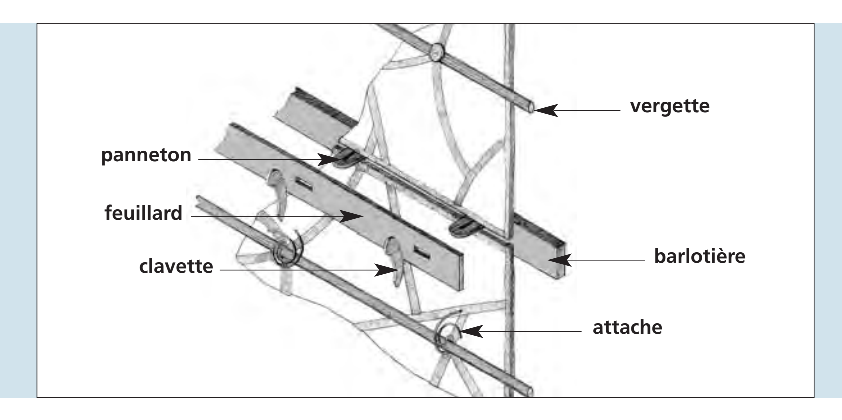
## 1°. RAPPEL HISTORIQUE ET TECHNIQUE




Maquette d'armature métallique traditionnelle avec barlotière à pannetons, feuillard et clavette
a. sans panneau de vitrail,
b. avec panneau de vitrail,
c. exemple de barlotière ancienne avec panneton.

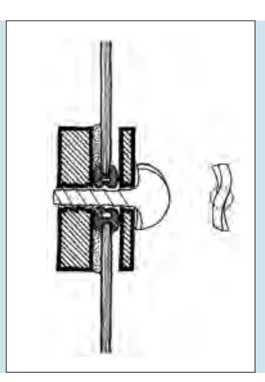
En France, le support des panneaux de vitrail dans les baies (principalement des édifices religieux anciens) est une armature métallique constituée :

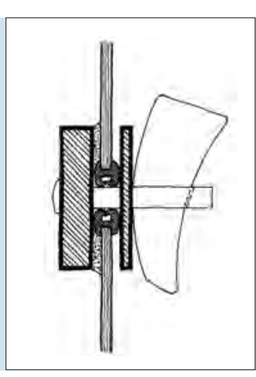
- d'éléments fixes : profils plats de section rectangulaire ***(barlotières)***, munis d'éléments de supports de panneaux, percés d'une lumière et disposés régulièrement ***(pannetons)*** ;
- d'éléments mobiles :
- profils plats de faible épaisseur, percés régulièrement de lumières pour le passage des pannetons, et qui maintiennent le panneau appliqué contre la barlotière ***(feuillards)***. Le feuillard est serré contre le panneau par de petites pièces métalliques en forme de triangle effilé, qui passent dans la lumière du *panneton* ***(clavettes)*** ;
- baguettes de section ronde ou carrée, placées le plus souvent horizontalement dans l'intervalle des barlotières et destinées à maintenir la verticalité et la planéité du panneau auquel elles sont fixées par des attaches, généralement en plomb, soudées au réseau du panneau ***(vergettes)***.

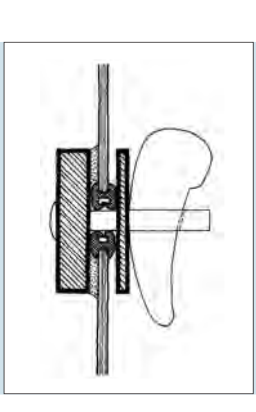



Principe de pose de panneaux de vitrail sur une armature métallique traditionnelle. (©. E. Pallot).









Vis à violon et différents profils de clavettes.
(©. E. Pallot).

Dans l'histoire du vitrail on trouve des armatures de plusieurs types :

- armatures simples : barlotières droites divisant la baie en registres horizontaux,
- armatures composées :

- barlotières à la forme des panneaux, circulaires, en carrés sur pointe, polylobées, etc.
- barlotières verticales et horizontales assemblées, divisant les larges baies.

On trouve également, notamment à partir du XVIIe s., d'autres types d'armatures ou de modes de fixation des panneaux :

- barlotières à vis à violon,
- profils en T (pays anglo-saxons et XIXe s. en France),
- châssis à cadre dormant fixé au pourtour de la baie (cadres en bois, barlotières, profils en T).

Le matériau que l'on rencontre le plus souvent pour les parties constituantes de l'armature est le fer forgé, mais il faut signaler l'existence, devenue rarissime, de cadres de bois sur lesquels se fixait parfois l'armature (XIIe-XIIIe s.).
Dans les édifices civils les panneaux de vitrail sont le plus souvent posés sur des châssis en bois.

## 2°• PRINCIPES DE CONSERVATION

L'armature métallique est partie intégrante de la composition de la verrière, quelle que soit son époque. En raison de la bonne qualité des fers employés ou de la moindre agressivité de l'environnement, un certain nombre d'armatures anciennes sont parvenues jusqu'à nous (essentiellement des barlotières).
Il importe donc de les conserver au maximum. C'est dans cet esprit qu'il faut envisager leur remise en état plutôt que leur remplacement systématique (redressement, dégauchissage, entures de fer neuf pour remplacer les parties oxydées, etc.).

L'appréciation de l'état de conservation des barlotières est néanmoins difficile tant que les vitraux sont encore en place. C'est pourquoi, il est nécessaire, après la dépose des panneaux, de procéder à un examen attentif avec le maître d'œuvre, de l'état réel des armatures avant toute intervention :

- l'oxydation des fers anciens peut n'être que superficielle et masquer un métal sain dans sa masse. Il est donc nécessaire de les nettoyer pour bien évaluer leur état de conservation. Un bon décapage et une protection anticorrosion efficace peuvent bien souvent permettre le maintien en place de fers anciens.
- la résistance mécanique des fers peut cependant être affaiblie par la corrosion et les efforts mécaniques subis (poids des panneaux, effets du vent etc.). Mais cet affaiblissement est difficilement quantifiable autrement que par des tests mécaniques destructifs, et reste à l'appréciation du maître d'œuvre.







1. Chartres (28), cathédrale, fenêtre haute sur le côté sud, exemple d'armatures composées, avec pose par l'extérieur. (©.LRMH).

2. Coutances (50), cathédrale, barlotières croisées dans une armature composée, vue extérieure, XIIIe s. (©.LRMH).

3. Tours (37), cathédrale, baies hautes du chœur, pose extérieure sans feuillard. Il s'agit d'une disposition ancienne, mais qui n'assure pas l'étanchéité de la verrière (©.LRMH).

4. Chartres (28), église Saint-Pierre, baies hautes, en vue extérieure. Les vergettes trop courtes ne reposant pas dans la maçonnerie, ne soutiennent pas le panneau et n'assurent pas son maintien en place (©.LRMH).

Le recours à des matériaux de substitution, tels que l'acier inoxydable, la fonte de fer, le bronze, le laiton, etc., peut être dicté par des problématiques spécifiques, comme une zone de forte corrosion potentielle, des besoins accrus de résistance mécanique. Il doit rester exceptionnel.

## 3°• FOURNITURE ET FAÇON D'ARMATURES NEUVES

### A • CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES (CF. DTU 32-2)

Ce chapitre concerne la fourniture et la façon d'armatures neuves, en remplacement total ou partiel d'armatures non conservées. Les caractéristiques générales sont celles qui doivent être prescrites pour une création complète et ne tiennent pas compte de la reproduction des dispositions anciennes des armatures, éventuellement demandée par le maître d'œuvre, et qui doivent être conservées si elles présentent un intérêt historique.
La fourniture et la façon d'armatures neuves impliquent un travail préparatoire précis, réalisé par une main-d'œuvre qualifiée (traçages des différents éléments, réalisation de pièces-gabarits, etc.), qui doit tenir compte du relevé effectué au moment de la dépose, sauf indication contraire figurant au CCTP.
Pour les armatures complexes, le coudage et le contre-coudage doivent épouser parfaitement le profil de la pièce à contourner. L'assemblage par soudure n'est pas admis, pour en permettre le démontage ultérieur.

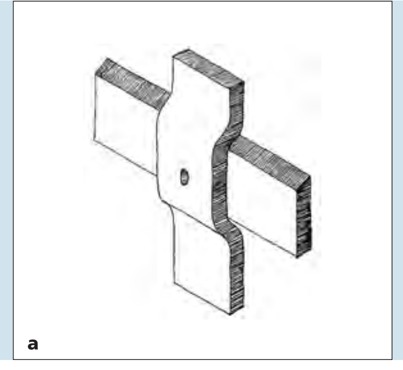
#### a • Éléments fixes

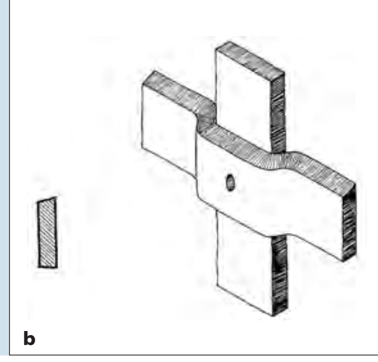
Barlotières

Les sections des barlotières sont variables selon les époques, la dimension de la baie et leur rôle dans celle-ci. Ainsi les barlotières formant barres de chaînage dans une baie à réseau sont généralement de section importante.

Principe de croisement de barlotières dans une armature composée.
Les chants supérieurs des pièces horizontales doivent avoir un profil qui ne permet pas la stagnation de l'eau.
a. La barlotière horizontale est passante
b. La barlotière verticale est passante. (©.E. Pallot).






Leur longueur doit être suffisante pour permettre un repos dans le scellement latéral de 3 à 4 cm au minimum. Cependant, dans les baies à meneaux très fins, cette dimension ne peut pas toujours être atteinte.
Dans les armatures composées, l'assemblage des barlotières se fait :

- soit à mi-fer,
- soit par coudage et contre-coudage. C'est la barlotière de traverse qui doit être coudée et contre-coudée, sauf disposition existante,
- soit par coulissage d'une barlotière de section plus faible dans une barlotière de section plus importante entaillée à cet effet. Le démontage est alors plus délicat.

La fixation se fait par rivetage, vissage ou boulonnage, en se fondant autant que possible sur les dispositions anciennes de l'armature.

Pannetons

Les pannetons sont de formes et de dimensions variables. Ils doivent présenter pour le panneau une surface d'appui suffisante pour éviter les déformations de celui-ci.
Leur épaisseur et leur fréquence sur la barlotière sont fonction du poids du panneau de vitrail. L'entre-axes doit être au maximum de 20 cm. Le premier

panneton de chaque côté doit être aussi proche que possible de la feuillure, dans les limites imposées par la pose des barlotières.
La lumière du panneton doit être calculée de façon à permettre une bonne pénétration de la *clavette* et un bon serrage du feuillard contre le panneau, compte tenu des épaisseurs respectives du mastic de pose, du panneau et du feuillard, ainsi que des couches de protection anticorrosion (notamment en cas de galvanisation). Les bords de la lumière, sur le petit côté, doivent être légèrement chanfreinés, pour permettre un bon serrage de la clavette.

La fixation du panneton sur la barlotière se fait :

- par rivetage ou matage à chaud de la queue du panneton sur la barlotière. Le trou, de forme carrée, pratiqué dans celle-ci, doit être proportionné à la section de la queue, sans jeu (méthode traditionnelle) ;
- par vissage ou serrage par écrou ;
- par autre type d'assemblage, en fonction du métal choisi, avec l'accord du maître d'œuvre.

La fixation par pointe rabattue sur la face opposée de la barlotière, n'est pas satisfaisante, car les pannetons peuvent présenter un jeu important. Lorsqu'il faut conserver ou reproduire cette disposition, il faut alors *rabattre* deux fois la pointe sur la section de la barlotière.
Les pannetons plats ont parfois été remplacés par des tiges filetées, ou boulons, avec écrou de serrage. Cependant ce système peut occasionner des déformations du panneau et des casses au niveau du point de contact ; il est donc à éviter. S'il doit être adopté malgré tout, le repos du panneau doit alors se faire sur une pièce d'appui plane.
On trouve également des fixations de panneaux par vis à violon, qui se substituent aux pannetons et aux clavettes. Lorsqu'il s'agit d'une disposition d'origine, celle-ci doit être conservée.
Dans les roses en pierre, les panneaux sont souvent soutenus par des pannetons scellés directement dans la pierre.

#### Profils en T

Traditionnels dans les pays anglo-saxons, les profils en T ont parfois remplacés en France, au XIX$^{e}$ s., les systèmes de barlotières. Tels qu'ils sont employés habituellement, ils présentent de sérieux inconvénients :

- mauvaise étanchéité due à l'adhérence médiocre de mastics sur un tel profil,
- accumulation d'eau sur le plat horizontal qui entraîne une corrosion rapide,
- mauvais maintien du panneau contre l'armature (goupilles coniques).

Dans certains cas, pour respecter une disposition originelle, on peut être amené à les conserver. **Mais en aucun cas ils ne doivent se substituer à des barlotières traditionnelles.**

### b. Eléments mobiles

#### Feuillards

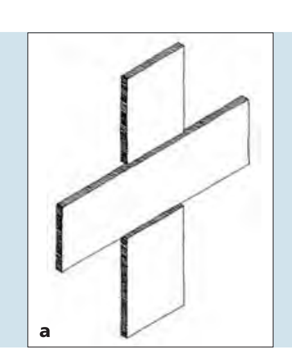
Le feuillard doit avoir une épaisseur, ni trop faible pour ne pas être trop fragile, ni trop forte pour garder une certaine élasticité, en fonction de la nature du métal choisi et de la dimension de la pièce (ex. pour le fer : de 1,5 à 3 mm ; pour le laiton : environ 3 mm).
Sa largeur est identique à celle de la barlotière et sa longueur égale ou légèrement inférieure au jour de la baie.
Le perçage des feuillards impose le relevé précis des emplacements des pannetons sur les barlotières. Les lumières de passage des pannetons doivent présenter le jeu nécessaire à la dilatation des matériaux, en tenant compte de l'épaisseur des couches de protection anticorrosion.

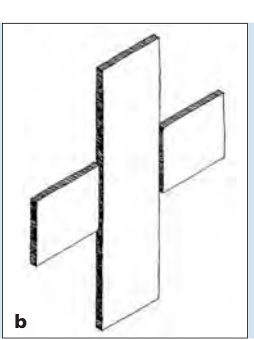
Principe de croisement de feuillards dans une armature composée

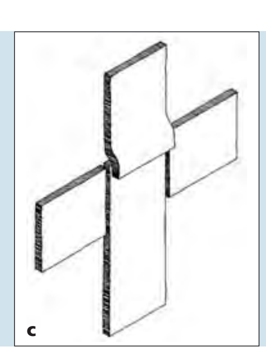
a. Le feuillard horizontal est passant

b. Le feuillard vertical est passant

c. Le feuillard vertical passant est interrompu. La jonction entre les 2 pièces doit empêcher la stagnation de l'eau. (©.E. Pallot).




Dans les armatures composées, l'intersection des feuillards verticaux et horizontaux doit permettre une dépose aisée, par registres horizontaux, et ne pas favoriser la stagnation de l'eau.

Dans les armatures en forme, les feuillards sont souvent en plusieurs parties pour permettre une pose et une dépose facile des panneaux de vitrail. Les feuillards en forme s'obtiennent généralement par cintrage à chaud ou par découpe. La longueur de la courbe doit être la moins morcelée possible.

Les intersections de feuillards sont réalisées soit par coudage et contre-coudage, soit par section au même niveau de l'élément vertical, et en aucun cas par chevauchement.

### Clavettes

La forme et la dimension des clavettes sont variables. Elles sont généralement de forme triangulaire rectiligne ou curviligne.

La surface de contact entre la clavette et le feuillard doit être suffisante pour permettre un serrage régulier de celui-ci contre le panneau de vitrail. C'est la forme légèrement curviligne qui permet le meilleur serrage et le montage-démontage le moins risqué pour les verres.

L'épaisseur de la clavette doit être proportionnée à la largeur de la lumière du panneton et calculée en fonction de la nature du métal.

### Goupilles coniques

Dans les profils en T, les clavettes sont remplacées par des goupilles coniques fichées dans une lumière circulaire.

### Vergettes

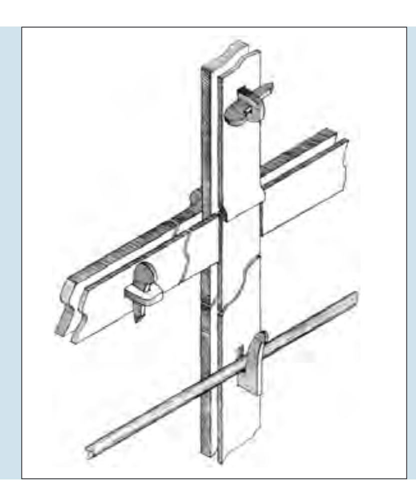
Les vergettes, de section ronde, carrée, ou rectangulaire, qui assurent la verticalité et la planéité du panneau, doivent être de section suffisante pour ne pas se déformer, en fonction du métal choisi et de leur longueur (8 à 12 mm environ).

Leur rôle statique est important ; cependant il vaut mieux, pour des raisons esthétiques, éviter:

- de les multiplier inutilement (une tous les 20 à 25 cm environ) ;

Schéma de principe d'une armature composée avec crochets pour vergettes traversantes. (©.E. Pallot).





- de les disposer à un endroit significatif de la composition (visages) ; si on ne peut l'éviter, on coude la vergette pour qu'elle suive le contour des plombs. Cependant, l'abus de ce procédé affaiblit la résistance mécanique de la vergette, et peut être disgracieux, notamment en pose extérieure.

Leur longueur doit être suffisante pour que leur extrémité puisse être fixée dans l'encadrement de la baie, en ménageant un espace suffisant pour la dilatation du métal.
En cas de pose sur un châssis de menuiserie, les abouts sont aplatis et percés, pour permettre la fixation par clous ou vis (cf. ch 3, Pose dans la baie).
En cas de barlotières composées, la vergette est traversante et repose sur un crochet fixé sur le montant.

## B • CHOIX DES MATÉRIAUX

Lorsque le changement total ou partiel des armatures anciennes s'impose, deux choix sont possibles.

1- Soit prendre un métal aux caractéristiques les plus proches possibles de celles du métal d'origine. Ce choix s'impose en cas de changement partiel, pour des raisons de compatibilité.

2- Soit remplacer les métaux ferreux, le plus fréquemment rencontrés, par un autre matériau, pour plusieurs raisons :

- forte dégradation des armatures anciennes ;
- forte agressivité du milieu (atmosphère marine, par exemple) ;
- nécessité de renforcer les propriétés mécaniques du système.

On peut citer l'emploi de fer pur, d'acier inoxydable, de fonte, de bronze, d'aluminium, de laiton, etc.
Il faut rester très attentif aux compatibilités des matériaux, y compris de soudure, et donc aux couples électrolytiques qui se forment entre deux métaux différents en présence d'eau (cf. tableau : Echelle de noblesse des métaux).

| ECHELLE DE NOBLESSE DES METAUX |
|---|
| **Série galvanique dans l'eau de mer** |
| **Extrémité noble ou cathodique** |
| Or |
| Graphite |
| 18-8 Mo, acier inoxydable au molybdène (passif) |
| Bronze (Cu-Sn) |
| Cuivre |
| Laiton (Cu-2n) |
| Etain |
| Plomb |
| Soudure plomb-étain |
| 18-8 Mo, acier inoxydable au molybdène (actif) |
| Fonte |
| Acier ou Fer |
| Aluminium |
| Zinc |
| **Extrémité active ou anodique** |

| QUALIFICATION DE L'AGRESSIVITÉ DU MILIEU SELON LA DÉFINITION ACQPA (1) | | |
|---|---|---|
| **CATEGORIE DE CORROSIVITE** | **EXEMPLES TYPIQUES D'ENVIRONNEMENT EN CLIMAT TEMPERE (INFORMATION)** | |
| | Extérieur | Intérieur |
| C2 Faible | Bas niveau de pollution et climat sec. Zones rurales surtout. | Immeubles non chauffés avec condensation possible. |
| C3 Moyenne | Atmosphère urbaine et industrielle. Pollution modérée en $SO^2$. Zones côtières avec faible salinité. | Unités de production avec humidité élevée et air pollué. |
| C4 Elevée | Zones industrielles et zones côtières avec salinité normale. | Site industriel, piscine, chantier naval… |

Le choix pour les Monuments historiques, même en milieu rural, se porte, pour les systèmes anticorrosion homologués, sur ceux de l'environnement C3 pour des raisons de durabilité même en l'absence d'entretien.

(1) Association pour la Certification et la Qualification en Peinture Anticorrosion

**Tout contact entre deux métaux d'origine différente doit être évité**. Si c'est impossible, il faut prévoir une isolation efficace et durable.
En cas de changement de matériau, les sections doivent être calculées en fonction de la résistance mécanique propre du métal choisi. Les modes d'assemblage et de façonnage sont propres à chaque métal.
Dans chacune des catégories, toutes les qualités ne se valent pas. Lorsque celle-ci n'est pas précisée au CCTP, le choix doit être soumis à l'accord du maître d'œuvre (cf. tableau : Choix des métaux).
Les métaux employés devront être parfaitement sains et exempts de tous défauts, poils, gerçures, déchirures. L'entreprise doit toujours être à même de justifier la provenance des métaux qu'elle utilise.

Tout travail mécanique sur les métaux (notamment les taraudages, perçages, chauffages, etc.) peut provoquer une modification des propriétés physico-chimiques du métal à cet endroit et entraîner une corrosion ultérieure. Il faut donc en tenir compte dans le choix des métaux et l'application des procédés anticorrosion.

## 4°. CONSERVATION-RESTAURATION D'ARMATURES ANCIENNES

### A. DÉPOSE D'ARMATURES ANCIENNES FIXES

La dépose est toujours précédée d'un repérage précis des emplacements des pièces dans la baie et leur identification par un procédé qui résiste aux traitements ultérieurs (sablages, grenaillages, etc.). Pour les armatures complexes, la réalisation d'un relevé et d'un attachement figuré sont nécessaires. La prise de photographies et de gabarits est conseillée. Les pièces doivent être précisément numérotées, selon un principe qui suivra au plus près celui des baies et des panneaux eux-mêmes.
L'état général de corrosion doit alors être noté.
Le descellement se fait avec soin, sans forcer sur les éléments métalliques et sans endommager les ouvrages avoisinants.
Les travaux de dérivetage des assemblages majeurs sont exécutés avec toutes les précautions nécessaires pour ne pas déformer les trous, en perçant au besoin les rivets avant de les chasser.
N.B. La dépose des armatures mobiles est décrite au chapitre I : Dépose et manutention.

**CHOIX DES MÉTAUX DE COMPLEMENT OU DE SUBSTITUTION**

| | Métal | Qualité | Utilisation | Propriétés mécaniques | Résistance à la corrosion | Réalisation | Aspect final et évolution | Remarques |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| FERREUX | **Fer** | Pur | Serrurerie | ++ | Avec SAC* + à ++ | facile | Peinture, → rouille | |
| FERREUX | **Acier** | doux | Serrurerie | ++ | Avec SAC + | facile | Peinture, → rouille | |
| FERREUX | **Acier inoxydable** | Nuances en (f) environnement | Serrurerie grillage | S uivant la nuance ++ ou +++ | Suivant la nuance + ou ++ | Facile avec précautions particulières en (f) de la nuance Main d'œuvre spécialisée | Blanc éclat métallique, Coloration possible, peinture, → rouille en piqûres | Sensible à la poussière |
| FERREUX | **Fonte** | Fonte grise | Serrurerie | +(+) | + à ++ avec SAC | Uniquement moulé | Peinture, → rouille | Rupture fragile possible |
| FERREUX | **Fonte** | Fonte GS | Serrurerie | +++ | + à ++ avec SAC | Uniquement moulé | Peinture, → rouille | Ne casse pas |
| CUIVREUX | **Cuivre** | Electrolytique ou désoxydé | Grillage | + | ++ | facile | Peinture → brun - rouge, → vert | Isoler le grillage de la serrurerie si celle ci en ferreux |
| CUIVREUX | **Laiton** | Nuances (f ) environnement Recommandé : moins de 30% zinc | Serrurerie grillage | + | + Suivant la nuance – à++ | Très facile | Peinture → brun - rouge, → vert | Propriétés mécanique + faibles que celles des ferreux Idem cuivre |
| CUIVREUX | **Bronze** | Nuance en (f) environnement | Serrurerie | + | Suivant la nuance + à ++ | Très facile | Peinture → brun - rouge, → vert | Propriétés mécanique + faibles que celles des ferreux |
| | **Aluminium** | Nuances spécifiques en (f) environnement | Serrurerie | Suivant la nuance – ou + | Suivant la nuance + à++ | Facile avec précautions particulières en (f) de la nuance | Blanc métallique, Coloration possible, Peinture → blanchâtre | Propriétés mécaniques + faibles que celles des ferreux |

* SAC : système anticorrosion.

## B • RESTAURATION DES ARMATURES FIXES ET MOBILES

### a • Nettoyage préliminaire pour état sanitaire

Un premier nettoyage est effectué en atelier, pour déterminer précisément l'état de corrosion des métaux.
Les différentes pièces sont ensuite présentées au maître d'œuvre pour détermination définitive des éléments à conserver et à changer.

### b • Restauration des pièces principales

Les redressages et dégauchissages d'armatures se font en atelier et non sur place sans dépose. Pour les fers, l'opération se fait à chaud.
Pour conserver des barlotières anciennes, on peut être amené à changer les abouts, plus oxydés, par greffe de métal neuf, en principe de la composition la plus proche possible de celle des matériaux d'origine.

L'assemblage se fait généralement à mi-fer, et la fixation par un rivetage soigné et sans jeu, ou par soudure. Les pièces de fixation doivent être réalisées dans un métal compatible avec celui de la barlotière conservée (cf. tableau : Choix des métaux).

#### c • Remplacement des pièces secondaires

On est souvent conduit à changer les pièces de support de panneaux (pannetons, goujons filetés, vis à violon, etc.), en raison :

- de l'oxydation des pièces,
- de leurs dimensions ou de leur emplacement inadéquats.

Après avoir supprimé avec soin les pièces anciennes endommagées et dégagé les orifices sans déformer les trous, les nouvelles pièces sont fixées à la barlotière, selon les dispositions d'origine ou les prescriptions du CCTP, généralement par rivetage ou matage de la queue du panneton sur la barlotière. Dans le cadre d'une réparation sur place on peut admettre les dispositions suivantes :

- serrage à l'aide d'un écrou après filetage de la queue du panneton ;
- vissage de la queue du panneton ou de la vis à violon dans la barlotière taraudée à cet effet. Cependant cette technique, qui ne permet pas un ajustement parfait du panneton est à éviter ;
- pointe rabattue, en complément d'une disposition existante : la queue du panneton, plus longue que l'épaisseur de la barlotière, est rabattue au marteau deux fois sur les faces opposées de la barlotière. Cette technique, qui entraîne un jeu du panneton n'est pas recommandée.

### C • NETTOYAGE DES ARMATURES AVANT TRAITEMENT ANTICORROSION

Le nettoyage des armatures, notamment en métaux ferreux, est une opération essentielle à leur conservation et à celle des verrières qu'elles supportent.

Ce nettoyage a pour but d'éliminer tous les dépôts ou couches qui peuvent nuire à l'accrochage du traitement anticorrosion, jusqu'au métal sain et nu :

- résidus d'anciennes peintures,
- couches d'oxydation,
- autres dépôts (suies, poussières, matières grasses).

Cependant, dans certains cas on peut être amené à n'opérer qu'un nettoyage superficiel, suivi d'un traitement anticorrosion adapté, dans les cas suivants :

- fers anciens dont la corrosion est peu importante ;
- peintures anciennes très dures et imperméables, qui ont conservé leur rôle efficace de protection ;
- conditions de conservation favorables (édifice sain et présence d'une verrière de protection).

Dans ce cas il faut veiller à la compatibilité des couches supplémentaires de peinture avec les couches sous-jacentes, en faisant au besoin analyser celles-ci. Ceci n'est alors qu'une intervention de stricte conservation, qui ne peut être assimilée à un véritable traitement anticorrosion.
Le mode de décapage adopté dépend du lieu d'intervention.

#### a • Décapage sur place, sans dépose

En cas d'intervention à réaliser sur place sans dépose, on peut procéder par :

- brossage à la brosse métallique,
- grattage ou piquetage,
- brûlage suivi d'un grattage et d'un brossage à la brosse métallique. Dans ce cas l'obtention d'un permis de feu est nécessaire.

Toutes ces méthodes ne permettent pas l'élimination de toute trace de corrosion et nécessitent l'application soigneuse d'un procédé anticorrosion adapté : cf. tableau Paramètres de choix d'un système anticorrosion.
L'emploi de décapants chimiques (qui demandent un parfait rinçage) est interdit in situ.
Toute intervention sur place implique la dépose préalable des vitraux et la protection des ébrasements, meneaux, appuis, etc.

**TRAITEMENTS DE SURFACE**

| Traitement | Tolérance vis à vis du décapage | Main d'œuvre spécialisée | Lieu d'application des premières couches | Tolérance aux chocs | Esthétique | Remarques |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Recouvrement métal, ex : Zinc | DS 3 impératif - - | oui | Atelier, ou conditions T°, HR optimales | + | S'utilise sur fer, aciers, fonte avant application SAC | Très efficace pour améliorer la durabilité de la protection par peinture *Applicable sur ferreux (pas inox)* |
| Système glycérophtalique | ++ | non | *In situ* Atelier | ++ | Nombreux coloris | Dans de nombreux cas c'est le système le plus facile d'emploi *Applicable sur tous métaux après un primaire adapté* |
| Système époxydique : polyuréthane | + | non | Atelier *In situ* dans conditions optimales | + | Nombreux coloris Plutôt brillant | La finition sur époxy doit toujours être faite avec un polyuréthane plus résistant aux UV *Applicable sur tous métaux après un primaire adapté* |
| Bitumineux, brais, | +++ | non | *In situ* Atelier | + à ++ | Peu de coloris "empâte" Poisseux | Peut être utile dans certains cas pour la protection dans scellement *Manque d'esthétique pour un emploi sur serrurerie* |
| Vernis | + | non | *In situ* Atelier | + à ++ | Incolore (brillant) | Il ne s'agit pas de SAC, mais d'une protection très temporaire *Applicable sur tous métaux en (f) de sa nature* |
| Cire microcristalline | +++ | non | *In situ* Atelier | +++ | incolore | Il ne s'agit pas de SAC, mais d'une protection très temporaire *Applicable sur tous métaux* |
| Réducteur de rouille ou mouillant | ++++ | non | *In situ* Atelier | +++ | Peut modifier l'aspect du fer rouillé | Il s'agit de produit pouvant palier un problème de mise en œuvre de décapage mais beaucoup moins efficace qu'un décapage et un SAC |
| Colorations et patines | Pas de décapage mais des préparations de surface | oui | Atelier | ++ | +++ | Ce ne sont pas des protections contre la corrosion, leur durabilité est mal connue, s'emploie surtout sur cuivreux, aluminium et inox |

SAC : Système anticorrosion.

### b • Décapage en atelier

Dans ce cas, on peut procéder par :

- Projection d'abrasif (corindon, rugose, grenaille). Elle se fait alors à sec en cabine. Cette technique doit être employée avec précaution sur les feuillards conservés. La nature de l'abrasif, sa granulométrie et la pression doivent permettre d'obtenir, selon la norme de l'Office national d'homologation et de garantie des peintures industrielles, les degrés de propreté suivants :

- Degré de soin : de DS 2,5 à DS 3 (DS 3 = métal à nu ; DS 2,5 : il peut subsister quelques points de corrosion et particules de calamine très adhérents) ;
- Degré de rugosité (à vérifier à l'aide d'un rugotest) :
  . 18 fin, pour les pièces qui doivent recevoir une peinture anti corrosion
  . 18 gros, pour les pièces qui doivent recevoir une métallisation
  (cf. norme NF ISO 85-03 1,2,3,4).

- Application de pâtes décapantes à action chimique pour éliminer les vieilles peintures.

Ces pâtes doivent être très soigneusement éliminées par rinçage, pour ne pas compromettre l'accrochage du traitement ultérieur. Cependant leur élimination totale étant très difficile, leur emploi doit être réservé à des cas spécifiques. Cette technique ne permet pas d'éliminer la couche de corrosion.

- Bains électro-chimiques dans des ateliers spécialisés dans le cas où une galvanisation est préconisée. Cette technique n'est pas adaptée aux barlotières présentant un intérêt historique (cf. ch. 4, Armatures de verrières, 6).

**Tout nettoyage doit être suivi immédiatement d'une protection anticorrosion.**

## 5° • MODIFICATION D'UNE ARMATURE EXISTANTE

### A • CRÉATION D'UN CHÂSSIS OUVRANT

On peut être amené à modifier l'armature **d'une verrière sans valeur historique**, pour y aménager un châssis ouvrant afin de ventiler un édifice humide. Cet aménagement, présente de nombreux inconvénients :

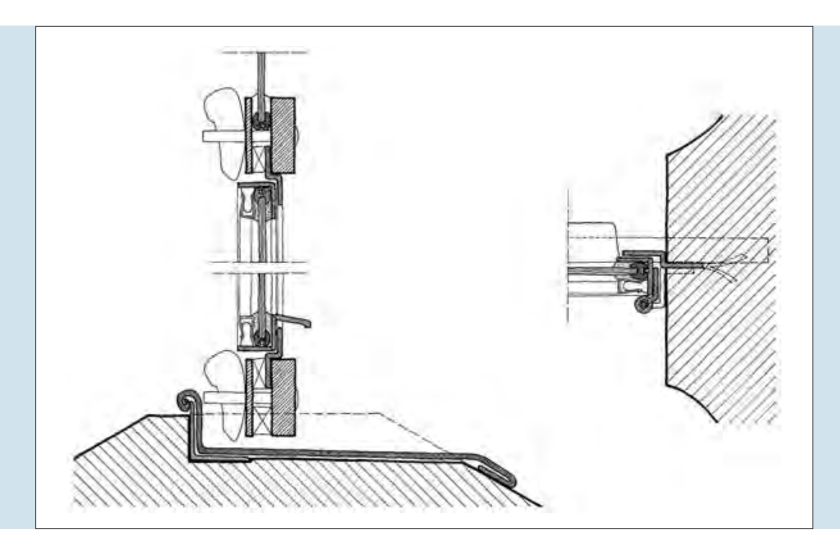
- manque d'étanchéité ;
- risque de condensation s'il est ouvert de façon intempestive, sans tenir compte des conditions climatiques ;
- maniements plus ou moins brutaux du vantail qui entraînent des ébranlements de la verrière, et donc des risques de bris de verre, etc.

**Il n'est donc admis que de façon exceptionnelle**, et à condition d'étudier précisément avec le maître d'œuvre le mode de contrôle de l'ouverture et l'étanchéité du panneau.

### B • CRÉATION D'UNE VERRIÈRE DE PROTECTION

Pour les armatures présentant un intérêt historique, on préférera la création d'une armature neuve indépendante pour supporter la verrière de doublage, afin de conserver en place la structure ancienne (cf. ch. 5, Protections de verrières).

Cependant, une armature ancienne, sans valeur historique, si elle est en bon état de conservation et apte à supporter un poids supplémentaire sans déformation, peut être modifiée pour recevoir un doublage de protection en panneaux de verre ou en vitrail. Les adaptations liées à cette transformation exigent les mêmes précautions quant à la compatibilité des matériaux et à la mise en œuvre que celles évoquées au chapitre conservation-restauration d'armatures anciennes.



Principe de châssis ouvrant aménagé dans un panneau de vitrerie. (©. E. Pallot).

## 6°. PROTECTION ANTICORROSION ET TRAITEMENTS DE SURFACE

Les traitements de surface dépendent de la nature des métaux choisis (cf. tableau : Traitements de surface).

### A . PROTECTION ANTICORROSION DES FERS ET ACIERS

En ce qui concerne les métaux ferreux, l'efficacité d'un traitement anticorrosion dépend :

- à 60% au moins de la qualité du nettoyage préalable des fers neufs ou anciens,
- à 30% environ du respect des modalités de mise en œuvre, prescrites par le fabricant,
- à 10% environ de la nature du système choisi.

Le nettoyage doit être suivi immédiatement d'un traitement destiné à empêcher la reprise de l'oxydation. Ce traitement sera fonction du choix du système de protection.

- DTU n° 32-2 (3,8) pour les fers ou aciers neufs,
- DTU n° 59-1 (4,54).

Le traitement doit être appliqué sur la totalité de l'armature, y compris sur la partie prise dans le scellement (à l'exception des scellements au plomb).

#### a . Décalaminage des fers et aciers neufs

Les fers et aciers neufs seront soigneusement décalaminés :

- soit en laissant le métal s'oxyder à l'air libre plusieurs mois, puis en le brossant à la brosse métallique,
- soit par sablage ou grenaillage, si on n'a pas laissé le métal s'oxyder.

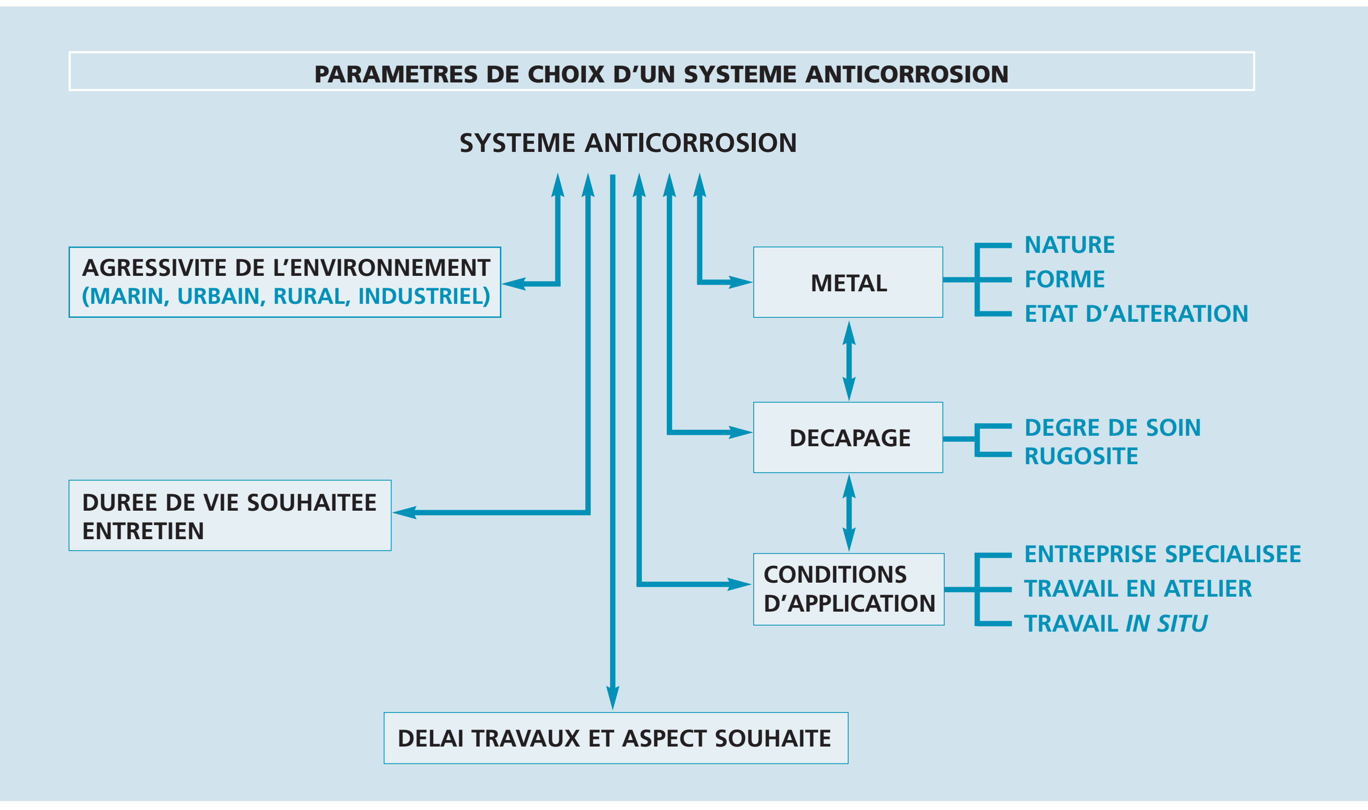
#### b . Préparation de surface

Les préparations avant application de peinture varient en fonction de l'état de surface du métal traité.

Apport d'une couche de métal

Ce traitement consiste en l'application d'une couche de métal anodique par rapport au fer, dont le plus courant est le zinc :

- par projection au pistolet (métallisation) ;
- par immersion dans un bain de zinc fondu (galvanisation), pour les fers neufs ou sans valeur historique ;




Le procédé par électrolyse n'est pas recommandé.
Cette application doit être précédée d'une mise à nu du fer et suivie, le plus rapidement possible, du recouvrement par un système de peinture, comprenant une couche primaire réactive.
Ce traitement se fait en atelier par une main d'œuvre spécialisée (cf. DTU 59.1).
Cette couche de métal peut être remplacée par l'application d'une peinture riche en zinc.

#### Application d'un produit transformateur de rouille

Les produits dits "transformateurs de rouille", qui possèdent une véritable action sur la rouille, sont souvent à base d'acide tannique ou de produits phosphatants. Ils s'emploient généralement en cas de fers anciens qu'on ne peut nettoyer complètement.
Ils sont utilisés pour passiver un métal faiblement oxydé et peuvent améliorer l'adhérence d'un système de peinture. De pH acide, ils sont difficiles à utiliser sur place en raison de leur impact sur la pierre et doivent être soigneusement rincés, ce qui implique une bonne protection des existants.

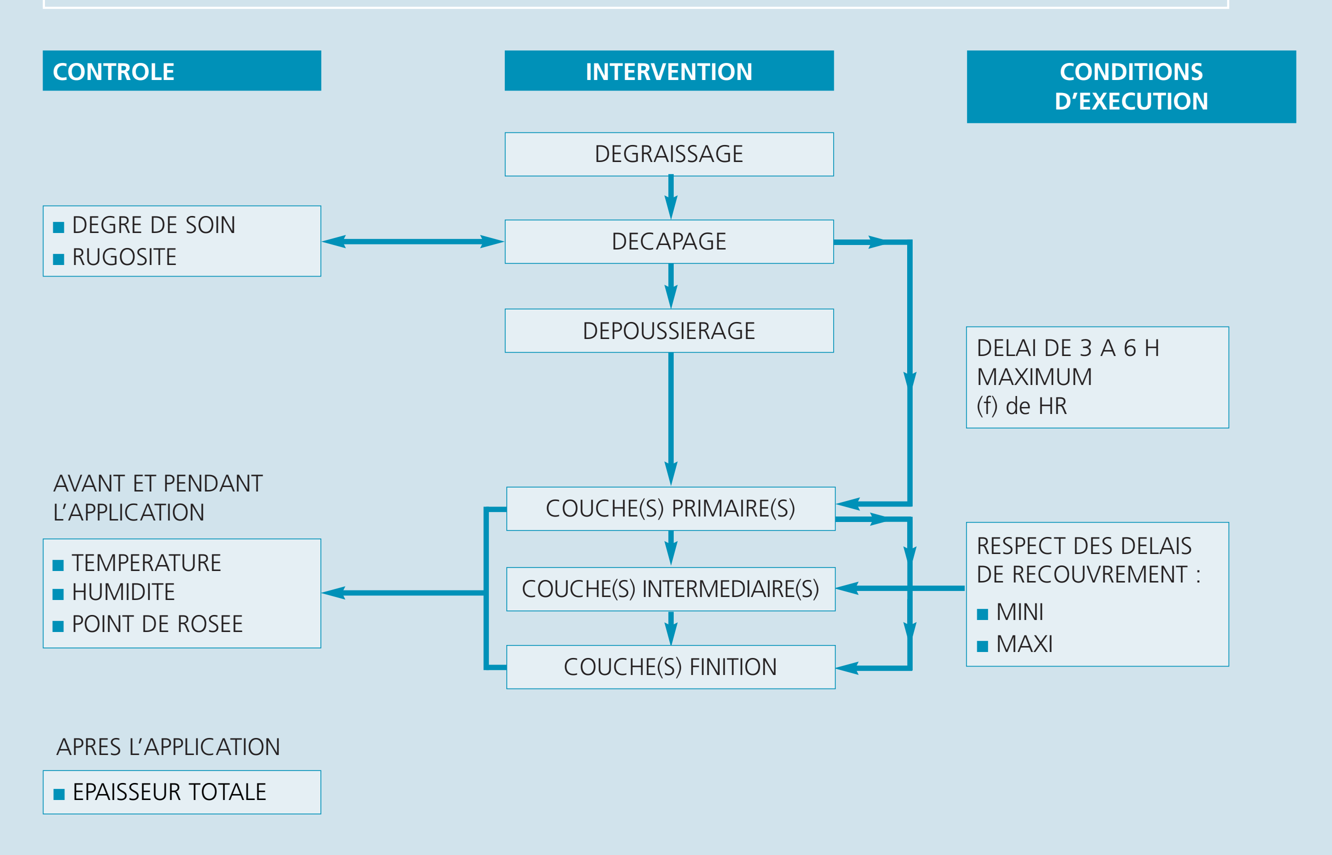
### c. Protection anticorrosion par système de peinture

Toute peinture anticorrosion est constituée de plusieurs couches :

- les couches primaires contenant des inhibiteurs de corrosion (minium de plomb, chromate de strontium, silicochromate de zinc, phosphate de zinc, peintures riches en zinc, etc.). Adaptées à la nature du support, elles doivent avoir une bonne adhérence et permettre un bon accrochage des couches suivantes.
- Les couches intermédiaires contenant une charge chimiquement inerte vis-à-vis du milieu extérieur et présentant une bonne imperméabilité (graphite lamellaire, oxyde de fer micacé, mica, etc.).
- La couche de finition renforçant l'imperméabilité, contenant des pigments, des colorants, et résistant aux UV.

Les différentes couches étant compatibles entre elles (compatibilité des liants), les systèmes proposés par les fabricants ne doivent pas être modifiés, sauf accord exprès du maître d'œuvre,
Les modalités de mise en œuvre prescrites par le fabricant doivent être scrupuleusement respectées :

- épaisseurs des différentes couches,
- conditions de température et d'hygrométrie,
- délais minimum et maximum de recouvrement entre chaque couche.



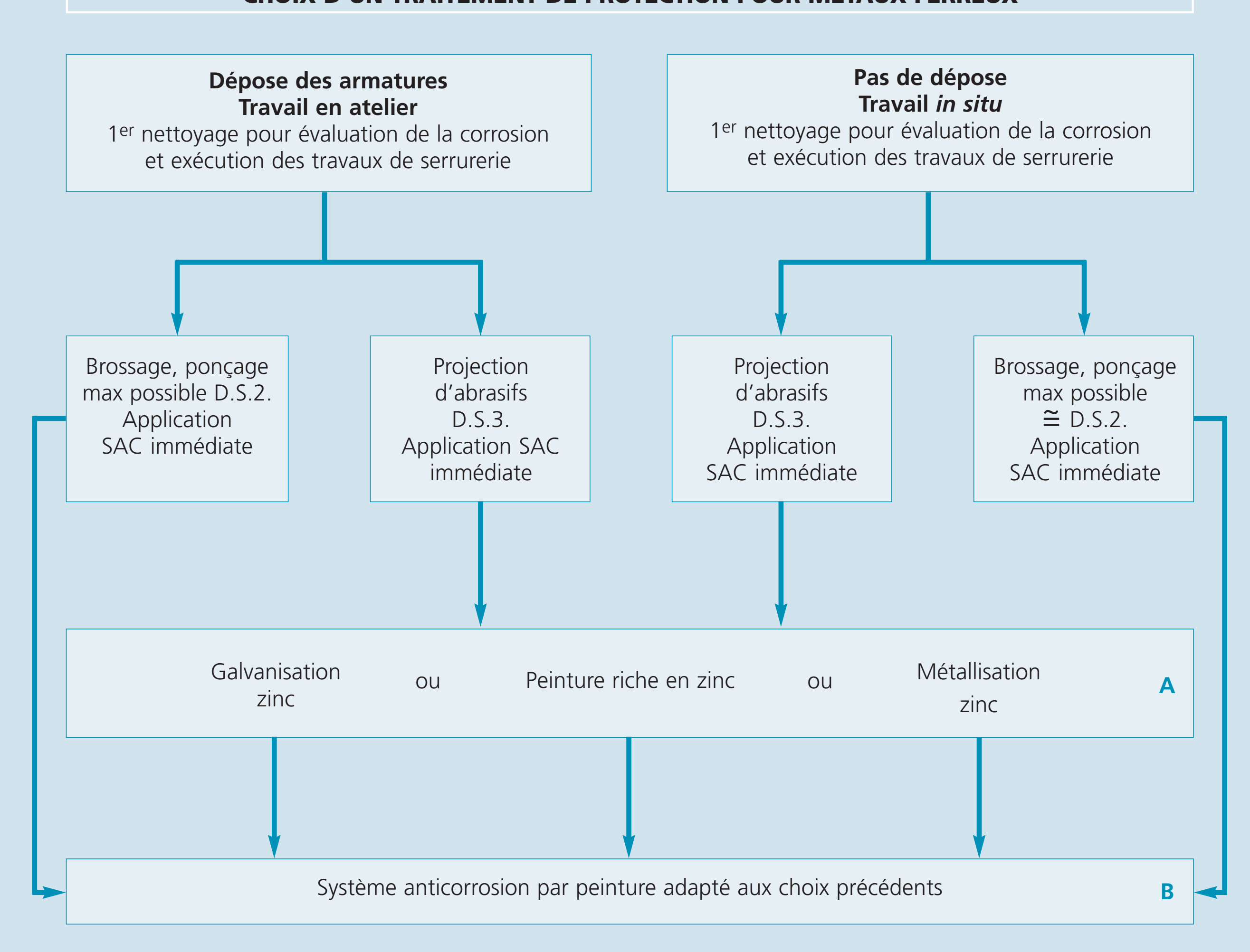

## B • TRAITEMENT DE SURFACE DES ACIERS INOXYDABLES

Les aciers inoxydables peuvent être colorés (patinés) sur de fines épaisseurs par des procédés chimiques réalisés par des sociétés spécialisées. La durabilité de ces colorations est difficilement évaluable.
Bien que ce ne soit pas un traitement habituel des aciers inoxydables, ils peuvent être peints, après une préparation de surface. Pour une bonne durabilité, il est recommandé de respecter les prescriptions anticorrosion données précédemment.

> Rappel : les aciers inoxydables ayant subi des opérations de mise en forme, doivent être repassivés afin de conserver leurs propriétés inoxydables.

## C • TRAITEMENT DE SURFACE DES METAUX CUIVREUX (LAITON, BRONZE)

L'aspect de surface des cuivreux peut être modifié par la réalisation d'une patine. Ces patines sont chimiques ou électrochimiques. Elles provoquent




• Système anticorrosion (SAC) mixte (revêtement métallique **A** + revêtement organique de peinture **B**). Dans ce cas, le primaire doit être adapté à la couche de zinc et il est souvent nécessaire d'effectuer une opération mécanique ou chimique pour éliminer les produits de corrosion formés sur le zinc au contact de l'air.

• Système anticorrosion (SAC) organique par peinture **B.**

Plusieurs choix types sont possible et souvent fonction de la qualité du nettoyage obtenu et des conditions d'application des peintures.
Le décapage est la phase la plus importante de l'anticorrosion pour la durabilité de revêtement.
D.S.3. : degré de soin => métal à nu
D.S.2. : degré de soin => résidus de peinture et de produit de corrosion

1. Les protections à base de zinc sont efficaces. Elles demandent un support parfait et une main d'œuvre expérimentée.
2. Les peintures : il est recommandé d'utiliser les systèmes d'anticorrosion certifié ACQPA. Une grande majorité des fabricants ont un ou plusieurs systèmes homologués.
Dans tous les cas le primaire doit être adapté au support ferreux, zinc ou autre. L'ensemble du système anticorrosion doit avoir une épaisseur d'environ 200 µm et toutes les couches doivent appartenir au même système du même fabriquant (une couche de 80 µm de peinture en application au pistolet équivaut à environ deux couches de 40 µm en application à la brosse).

une corrosion contrôlée du métal. Elles ne sont pas protectrices, mais elles peuvent dans certains cas ralentir (un temps) la cinétique de corrosion.
Les métaux cuivreux peuvent être peints. Hormis les prescriptions d'anticorrosion citées précédemment, le primaire (1re couche de peinture) devra impérativement être adapté au support cuivreux. Il n'y a pas d'homologation de peinture pour supports cuivreux. Il s'agira dans ce cas d'adaptation des normes.

## 7°• POSE D'ARMATURES NEUVES OU RESTAURÉES

### A • MONTAGE ET MISE EN PLACE (CF. DTU 32-2, CH. 4)

Le montage sur place se fait selon le relevé précis (gabarits) des emplacements anciens, en élévation et en plan, en respectant les aplombs, les alignements, les niveaux, et l'emplacement des panneaux.
Les manipulations devront être faites avec soin pour éviter d'endommager les pièces ou la peinture.

### B • RACCORDS DE PEINTURE

Pour les pièces qui auront reçu leur traitement anticorrosion en atelier, tous les accidents dus au transport ou au montage, ainsi que toutes les pièces de fixation, devront faire l'objet de raccords de traitement et de peinture très soigneux.

### C • PRÉSENTATION ET SCELLEMENT

Les percements dans la pierre ou les maçonneries seront exécutés avec toutes les précautions nécessaires pour ne pas endommager les ouvrages avoisinants. Ils auront une section adaptée à celle du profilé, et leur profondeur minimale sera de 4 cm (sauf en cas de meneaux très fins) en laissant un espace suffisant pour permettre la dilatation du métal.
Les armatures fixes (barlotières, fers à T, etc.) seront présentées et préscellées (si le scellement définitif est inclus dans un autre lot).
Les scellements se font généralement avec un mortier à base de chaux hydraulique.
Les scellements au plomb, qui présentent l'avantage d'être souples et de pouvoir absorber les déformations de structures, sont délicats à mettre en œuvre, notamment en feuillure verticale. Ils sont plus difficiles à éliminer en cas de dépose ultérieure. On peut leur substituer des manchons en plomb matés dans le scellement.
**Les scellements au plâtre et au ciment sont interdits.**
Les armatures mobiles (feuillards, clavettes) seront affichées à leur emplacement sur l'ensemble de la baie.



Chartres (28), cathédrale, bras nord du transept, grande rose et lancettes protégées par une verrière extérieure en panneaux de verre thermoformé posés sur armature en laiton (BL2) (©.LRMH)

Chapitre 5

# PROTECTIONS DE VERRIÈRES

Ce chapitre a pour objet tous les types de protections que l'on place à l'extérieur de verrières en vitrail :

- protections contre les chocs (jets de pierres, de ballons, grêle, etc.) ;
- protections contre les agressions chimiques de l'environnement.

Elles prennent le plus souvent la forme, dans le premier cas de grillages de protection, dans le second de verrières extérieures.

## 1°. GRILLAGES DE PROTECTION

La protection la plus courante est la protection par *grillage*. Celle-ci devra être la plus discrète possible, aussi bien dans son aspect extérieur, que dans sa vision par transparence. Les cadres qui suivent les formes du *remplage* sont généralement plus esthétiques que ceux qui passent devant.



Pau (64), chapelle du château,
grillage de protection en cuivre,
bien adapté à l'architecture de la baie (©. LRMH).

### A. DÉPOSE D'ANCIENNES PROTECTIONS GRILLAGÉES

Qu'ils soient ou non conservés, les anciens cadres de grillage doivent être déposés avec soin, et les pattes à scellement descellées sans endommager la pierre ou les maçonneries avoisinantes.

### B. REMISE EN ÉTAT D'UN ANCIEN CADRE CONSERVÉ

Pour les métaux ferreux, le nettoyage du cadre doit permettre d'éliminer toutes les traces de rouille et d'anciennes peintures.
Il doit être immédiatement suivi d'un traitement anticorrosion adapté (cf. ch. 4, Armatures de verrières, 5 B et 6).

### C. FOURNITURE ET FAÇON DE CADRE NEUF

La fourniture et la façon de cadre neuf impose une prise de mesures (et de gabarits pour les réseaux) très précise de la baie, de manière à ce que la protection en suive parfaitement les contours, avec un jour périphérique aussi réduit et régulier que possible (max. 2 cm).
La position dans l'ébrasement de la baie est précisée au CCTP, en fonction

Détail d'un grillage de protection en cuivre.
Les vis et boulons des pattes de fixation sont en métal ferreux et se sont oxydés par corrosion galvanique (©.LRMH).





des impératifs de résistance et d'esthétique du grillage. Chaque fois que cela est possible, le cadre sera placé à l'intérieur de l'ébrasement et suivra les divisions de la baie.
Les divisions du cadre doivent être calculées en fonction de celles de l'armature de la verrière pour ne pas couper visuellement les panneaux de vitrail.
Les cadres en fer ou métaux ferreux doivent être soigneusement décalaminés, et recevoir immédiatement un traitement anticorrosion adapté. L'emploi de tubes en acier est vivement déconseillé.
Pour le choix des matériaux et les traitements anticorrosion (cf. ch. 4, Armatures de verrières, 3 B et 6).

## D • FOURNITURE ET FAÇON DE GRILLAGE

Le choix du matériau du grillage doit tenir compte de la compatibilité avec celui du cadre (cf. ch. 4, Armatures de verrières, 3 B), mais aussi de la surface de contact de chacun des métaux.
La section du fil et sa trame doivent être calculées pour obtenir une bonne rigidité. Elles doivent tenir compte :
- de la distance à laquelle le grillage se trouvera placé par rapport au plan de la verrière, de façon à garantir au maximum des impacts ;
- de la transparence de la verrière, de manière à ne pas être trop visible de l'intérieur.

La dimension de la maille est d'environ 15 mm.
Le grillage est fixé sur le cadre (après que celui-ci aura reçu son traitement anticorrosion, s'il est en métal ferreux), correctement tendu, et cousu sur celui-ci maille à maille. Des ligatures du fil de couture doivent être faites régulièrement, tous les 1 m environ.

## E • POSE DE PROTECTIONS GRILLAGÉES

Les percements se font avec soin, de préférence dans les joints de la maçonnerie.
Les pattes de fixation, avec clavette ou goupille, seront choisies dans un matériau compatible avec celui du cadre. S'il s'agit de métaux ferreux, ces pattes feront l'objet d'un traitement anticorrosion adapté (cf. ch. 4, Armatures de verrières, 6).
Les pattes devront être conçues pour que l'on puisse démonter aisément le cadre et les pattes elles-mêmes.
L'ajustement dans l'ébrasement ou le réseau de la baie doit être le plus précis possible, pour éviter l'introduction de matériaux ou volatiles divers entre le grillage et la verrière.

## 2°• PROTECTION PAR VERRIÈRE EXTÉRIEURE

### A • RÈGLES GÉNÉRALES

Certaines verrières anciennes, en raison de l'état de conservation de leurs verres, demandent à être protégées par une verrière extérieure.
L'installation d'une telle verrière répond à plusieurs objectifs :

- protéger la face externe du vitrail contre les agressions de l'environnement extérieur : pluies, brouillard, neige, pollution atmosphérique, vents ;
- protéger la face interne du vitrail des phénomènes de condensation, responsables de l'altération des verres et des peintures (grisailles, émaux, peintures à froid) et des croissances de micro-organismes ;
- limiter les chocs thermiques responsables de dégradations des peintures ;
- protéger les armatures des vitraux des phénomènes de corrosion ;
- protéger les vitraux des chocs, grêle, etc.





1. York (Royaume-Uni), cathédrale, verrière du chevet, XVe siècle, protégée par une verrière extérieure depuis 1862. L'état actuel, en vitrerie losangée, correspond à une réfection de l'ancienne vitrerie en 1909 (©. LRMH).

2. York (Royaume-Uni), cathédrale, verrière protégée par une verrière extérieure constituée de panneaux de vitrail, dont le réseau reprend le tracé du réseau des vitraux originaux simplifié (©. LRMH).

Elle a pour effet induit d'assumer elle-même l'étanchéité de l'édifice et de permettre :

- de limiter, voire de supprimer, le masticage de la verrière ancienne,
- de sertir les panneaux anciens dans un cadre, non calfeutré, qui reçoit la fixation des vergettes, ce qui facilitera les déposes ultérieures.

Cette protection doit suivre certaines règles qui sont indiquées au CCTP, et qui doivent être formellement respectées au niveau de l'exécution :

- l'espace entre les deux parois doit être correctement ventilé. La dimension des orifices de ventilation hauts et bas doit être calculée pour permettre une bonne circulation de la lame d'air et éviter les phénomènes d'effet de serre ;
- la distance entre les deux parois doit être **supérieure à 3 cm**, dans la mesure où l'autorise l'architecture de la baie, afin d'obtenir une bonne efficacité contre les condensations sur le vitrail ancien ;
- la prise d'air se fait le plus souvent vers l'intérieur de l'édifice où l'air ambiant subit moins de variations climatiques ;
- la paroi extérieure doit être étanche à l'eau (lorsque la prise d'air se fait par l'intérieur) ;

- la dite paroi doit avoir une bonne résistance mécanique ;
- comme la paroi de protection peut subir à certaines périodes de l'année des phénomènes de condensation sur sa face interne, il est nécessaire de prévoir en partie inférieure de la baie une évacuation de l'eau de ruissellement vers l'extérieur ;
- la conception de la double verrière doit permettre une *dépose* ultérieure aisée des panneaux, pour en faciliter l'entretien.

### B • MISE EN ŒUVRE DE LA STRUCTURE DE LA VERRIÈRE (CF. CHAPITRE 4)

Elle peut se faire de trois manières :
- soit par la mise en place, à l'extérieur, d'une armature indépendante, afin de conserver intacte une armature ancienne,
- soit par remplacement complet de l'ancienne armature ;
- soit par modification de l'armature existante, à condition que sa résistance mécanique soit suffisante pour supporter le poids supplémentaire de la protection ;

### C • MATÉRIAUX DE LA VERRIÈRE EXTÉRIEURE

Le choix du matériau de la verrière de doublage dépend de plusieurs critères, parmi lesquels figurent notamment la transparence ou la translucidité du vitrail ancien à protéger, qu'il faut préserver, ou la visibilité de la verrière de doublage.
On peut employer, suivant les cas, différents types de panneaux :
- Des panneaux de verres de 3 à 4 mm d'épaisseur (verre blanc ou verre antique) découpés et mis en plombs, en suivant le réseau ancien. Cette solution est difficile à mettre en œuvre pour les verrières très transparentes, car l'on voit dans ce cas apparaître le réseau de la protection à travers le vitrail ancien.
- Des panneaux de verre feuilleté. Cette solution, qui peut être adoptée pour les vitraux très transparents, pose des problèmes esthétiques de reflets extérieurs, et techniques de mise en œuvre : masticage à l'huile de lin impossible, nécessité d'une cornière périphérique.

  L'inconvénient esthétique de la brillance peut être pallié par différents traitements de surface (patines légères, dépoli, surcuisson, verres stucturés ou antireflets), mais certaines opérations effectuées après usinage peuvent modifier les propriétés du vitrage.
- Des volumes de verre thermoformés, réalisés sur une empreinte des panneaux anciens sur lit de plâtre. Ces volumes sont généralement d'une épaisseur de 6 mm environ. Ils peuvent être également feuilletés pour des raisons de sécurité pour le public et pour assurer une meilleure protection mécanique du vitrail.

Ces différents types de protection peuvent recevoir une patine mais elle doit être la plus légère possible pour modifier au minimum la transparence des panneaux anciens.

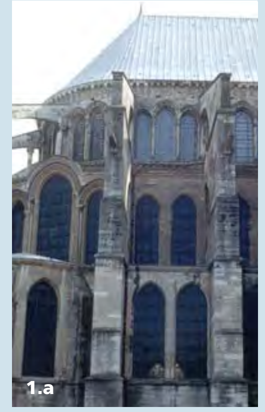
#### a • Protection par volumes de verre, plat ou thermoformé

Cf. DTU n° 39 pour le choix des épaisseurs de verre, des modes de pose et des étanchéités.
On emploie généralement un verre feuilleté découpé à la dimension du panneau de vitrail à protéger. Pour les jours de réseau, les volumes de verre sont découpés à la forme, après prise de gabarits très précise sur place. La découpe doit être effectuée par une main-d'œuvre spécialisée.
Les règles de pose s'appliquent également pour les volumes de verre thermoformé.

Le choix des types de verres et des épaisseurs doit permettre de modifier au minimum la transparence ou la translucidité de la verrière ancienne, notamment pour les verrières à dominante claire.
Les verres trempés sont interdits en raison des risques de casse, sauf s'ils sont feuilletés.
Les solins d'étanchéité sont assurés par un mastic à l'huile de lin, sauf pour les verres feuilletés (cf. DTU 39), qui doivent recevoir un produit d'étanchéité spécifique, ou un mastic élastomère.

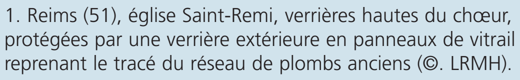


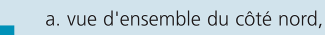
Châlons-en-Champagne (51), église Notre-Dame-en-Vaux, verrière du XIIe s. protégée par une verrière en panneau de verre feuilleté. Les reflets sont dans le cas présent, peu gênants en raison de la situation de la baie (©.I.Pallot-Frossard).











1. Reims (51), église Saint-Remi, verrières hautes du chœur, protégées par une verrière extérieure en panneaux de vitrail reprenant le tracé du réseau de plombs anciens (©. LRMH).

a. vue d'ensemble du côté nord,

b. détail d'un panneau de protection.

2. Troyes (10), église Saint-Urbain, verrières du chœur protégées par une verrière extérieure en panneaux de vitrail reprenant le tracé du réseau de plombs anciens (©. A. Vinum).







Chartres (28), cathédrale, verrières du déambulatoire, protégées par une verrière extérieure en panneaux de verre thermoformés, posés sur une armature indépendante en laiton (BL2) (©.LRMH).

a. vue d'ensemble de la baie 5

b. détail de la baie 0.

### b • Protection par panneaux de vitrail

Pour des raisons esthétiques, le choix du maître d'œuvre a pu se porter sur une protection par panneaux de vitrail, en verres découpés et mis en plombs, reprenant le réseau de la verrière ancienne.

La verrière de doublage doit présenter :

- une bonne résistance mécanique aux chocs et aux déformations
- une bonne étanchéité à l'eau.

Ces impératifs impliquent nécessairement :

- des verres suffisamment épais (3 à 4 mm) ; au cas où le maître d'œuvre choisirait des verres soufflés minces, une protection grillagée resterait indispensable ;
- des plombs suffisamment résistants en fonction de la dimension des pièces ;
- un masticage très soigneux, à l'huile de lin ou au mastic élastomère ;
- un calfeutrement périphérique très soigneux lui aussi.

Les verres peuvent faire l'objet d'un traitement de surface pour atténuer leur brillance (dépoli, patine, surcuisson, etc) mais ce traitement doit apporter le moins de modifications possibles à la transparence et à la coloration des verres anciens.

Le réseau des plombs doit suivre celui des panneaux anciens, avec quelques simplifications si nécessaire, mais ne pas obéir à un tracé arbitraire, où les plombs de la verrière de doublage risquent de traverser visuellement les verres anciens par transparence. C'est pourquoi le tracé du doublage s'obtient grâce à un frottis des panneaux anciens.

## D • MODE DE POSE DES DEUX VERRIÈRES

La verrière ancienne est posée :

- de préférence à son emplacement d'origine dans la baie, ce qui reporte à l'extérieur la verrière de doublage ;
- en léger déplacement vers l'intérieur de l'édifice, le doublage se trouvant alors à la place d'origine du vitrail ancien. Dans ce cas, le jour périphérique éventuel doit être dissimulé par tout moyen à étudier sous la conduite du maître d'œuvre (languette de plomb, feuillard en cornière, etc.).

Dans certains cas il peut être nécessaire de créer la ventilation en aménageant l'encadrement de la baie, mais en aucun cas les panneaux anciens ne doivent être recoupés dans ce but.

Les panneaux anciens peuvent être sertis dans un cadre métallique indépendant de l'armature elle-même, choisi dans un matériau compatible avec celle-ci (cf. chapitre 4, 3.2). Les panneaux ainsi présentés ne sont généralement pas calfeutrés, ce qui augmente les effets de la ventilation intérieure, et facilite la dépose ultérieure.













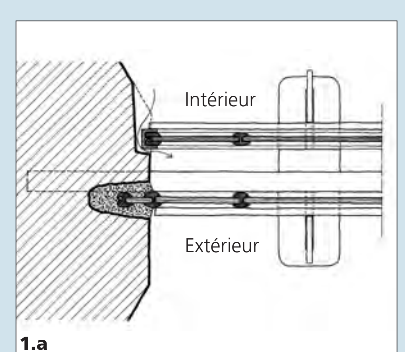
Tours (37), cathédrale, baies hautes du chœur, verrières de protection posée sur une armature en laiton (BL2) indépendante de l'armature ancienne conservée (©.H. Debitus)

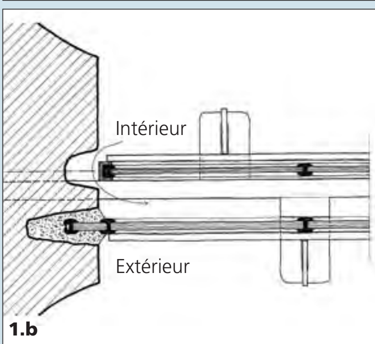
a. détail de la structure d'une armature vue du dessus,

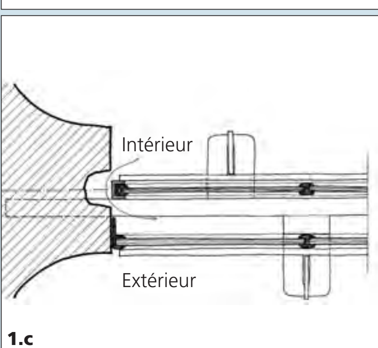
b. réalisation de l'étanchéité par bain de mastic entre feuillard et panneau de verre thermoformé,

c. détail d'un croisement de feuillards horizontaux,

d. mise en place de l'armature de la protection dans un oculus quadrilobé.



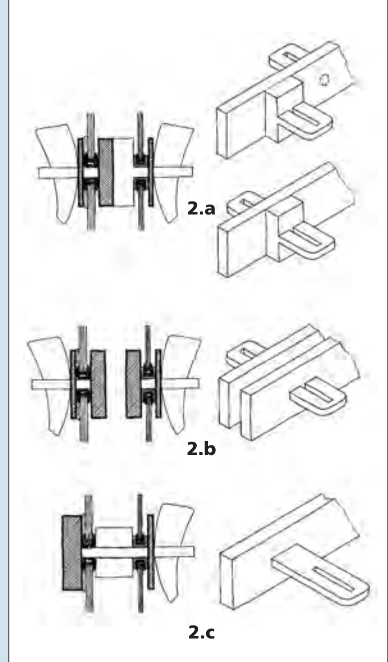




1. Différents types de pose de la verrière ancienne et de la verrière de protection dans la baie.

a. Pose d'une verrière de protection en panneaux de vitrail à l'emplacement de la verrière d'origine, sur armature neuve avec pannetons alignés. La verrière ancienne est décalée vers l'intérieur de l'édifice, dans une feuillure aménagée dans le tableau de la baie,

b. Pose d'une verrière de protection en panneaux de vitrail à l'extérieur de la verrière d'origine, sur armature ancienne conservée, avec pannetons décalés. Dans ce cas, la verrière ancienne reste à son emplacement d'origine,

c. Pose d'un panneau de protection dans un jour de réseau. Le panneau ancien est à son emplacement d'origine, le panneau de protection est maintenu dans le tableau par un plomb en L. (©. E. Pallot).

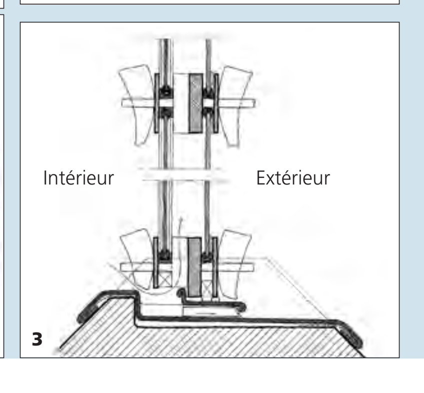



2. Différents types d'armatures de verrières de protection, en coupe et en vue axonométrique.

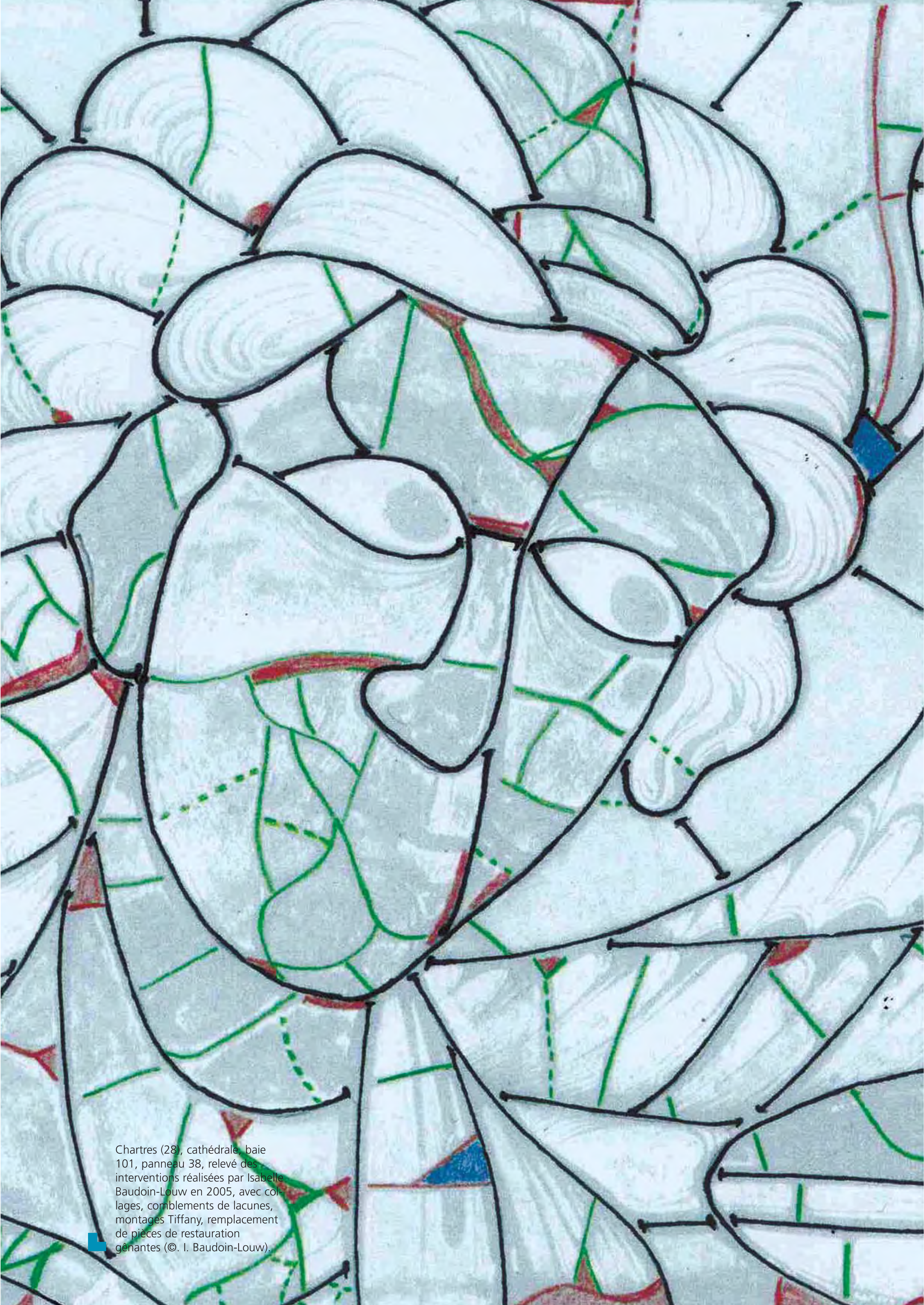
a. Pose du vitrail et de la verrière de part et d'autres d'une même armature, avec pannetons décalés, ou avec pannetons alignés,

b. Pose de la verrière de protection sur une armature neuve indépendante de l'ancienne conservée,

c. Pose de la verrière de protection et du vitrail ancien du même côté de l'armature, en fonction du sens de la pose, sur pannetons allongés. (©. E. Pallot).




3. Détail d'un appui de baie avec verrière de protection, comprenant une ventilation par l'air intérieur et un rejet vers l'extérieur des eaux de condensation éventuelle sur la double verrière. (©. E. Pallot).



Chartres (28), cathédrale, baie 101, panneau 38, relevé des interventions réalisées par Isabelle Baudoin-Louw en 2005, avec collages, comblements de lacunes, montages Tiffany, remplacement de pièces de restauration gênantes (©. I. Baudoin-Louw).

# Chapitre 6
# DOSSIER DOCUMENTAIRE

Le dossier documentaire fourni par les entreprises à la fin des travaux a pour finalité :

- pour les verrières classées, d'être intégré dans le dossier documentaire et des ouvrages exécutés établi par l'architecte en chef des monuments historiques et archivé ;
- pour les verrières inscrites ou non protégées, d'être transmis directement à la Direction régionale des affaires culturelles concernée et archivé.

Pour garantir un archivage correct et assurer la bonne conservation des documents, ce dossier doit obéir à certaines règles.
En fonction de la nature de la verrière traitée, le CCTP peut prescrire trois types de dossiers différents : dossier de base (n°1), dossier élaboré (n°2), dossier complet (n°3)

## 1°. RÈGLES GÉNÉRALES

Tout document doit être daté et préciser la localisation de l'œuvre dans l'édifice.

### A • PHOTOGRAPHIES

#### a • Prise de vue

L'échelle doit être constante.
L'éclairage en atelier :

- doit respecter les mêmes conditions avant et après intervention ;
- doit être constant, donc artificiel :
  avec une température de couleur de 3 200° K (degrés Kelvin) en lumière artificielle et 5 500° K en lumière du jour.

La prise de vue des panneaux en atelier se fait sur tables ou caissons lumineux avec des caches posés autour des panneaux, ou tout autre moyen technique pour éviter les surexpositions périphériques. Le verre dépoli de la table ou du caisson doit être neutre.
La mire Pantone doit figurer sur le cliché, ainsi qu'une échelle centimétrique.

#### b • Présentation des tirages

Le format des tirages peut varier en fonction du dossier (1,2).
Ils devront en tout état de cause être collés, au moyen d'une colle permanente, non repositionnable, sur des bristols, ou papiers forts, neutres, de format A4 ou A3 plié en A4 et dûment légendés (n° de la baie et n° du panneau pour les verrières figurées). La colle doit être à base de méthylcellulose.

### B • NOMBRE D'EXEMPLAIRES

Le nombre d'exemplaires à fournir à l'administration est en général de quatre, dont un exemplaire original reproductible et trois photocopies laser, qui seront destinés:

- à l'administration centrale, Médiathèque de l'architecture et du patrimoine (original et négatifs)
- à la Conservation régionale des Monuments historiques (copie)
- au maître d'œuvre (copie)
- au propriétaire (copie).

### C • DOSSIER NUMÉRIQUE

L'établissement d'un dossier numérique, fourni sur CDRom ou DVD, peut être prévu au CCTP. Ce dossier devra suivre les mêmes normes de présentation que les dossiers sur papier.

La fourniture de ce dossier ne dispense pas de l'établissement d'un dossier original sur papier pour l'archivage.

## 2°• CONTENU DES DOSSIERS

### A • DOSSIER N° 1, DOSSIER DE BASE

Ce dossier peut être choisi notamment pour les vitreries géométriques, ou les verrières ornementales très simples.

#### a • Prises de vue

On prévoit généralement pour chaque baie, soit sur support argentique (format 24 x 36), soit sur support numérique :

- une prise de vue in situ de l'ensemble de la baie avant intervention
- une prise de vue en atelier de quelques panneaux :
  - avant et après intervention pour les restaurations,
  - après réalisation pour les créations,
  - une prise de vue in situ de l'ensemble de la baie, après la pose de la verrière et sans échafaudages.

#### b • Présentation

Tirages des clichés de panneaux et des clichés d'ensemble collés sur bristol neutre ou papier fort neutre pour l'exemplaire original.

#### c • Relevés des travaux exécutés

Les attachements figurés à fournir sont les relevés sur papier millimétré des panneaux de forme, destinés au calcul des surfaces.

### B • DOSSIER N° 2, DOSSIER ÉLABORÉ

Ce dossier peut être choisi en particulier pour les verrières ornementales peintes plus complexes, ou pour des verrières figuratives qui ne présentent pas un intérêt historique ou esthétique exceptionnel.
Il peut également être adapté aux créations de composition libre ou d'accompagnement.

#### a • Prises de vue

Les prises de vue peuvent se faire sous forme de négatifs noir et blanc ou couleur, diapositives couleur (format 24 x 36), photographie numérique, selon les indications du CCTP.
Celui-ci prévoit au minimum :

- Une prise de vue *in situ* de l'ensemble de la baie avant intervention pour les créations,
- Une prise de vue en atelier de quelques panneaux sélectionnés pour les verrières géométriques ou ornementales à motifs répétitifs, de l'ensemble des panneaux pour les verrières figurées :
  - avant et après restauration
  - après réalisation pour les créations. Dans le cas de créations de composition libre, des photographies des maquettes doivent être pré vues, et leur lieu de conservation indiqué.
- Une prise de vue *in situ* de l'ensemble de la baie, après la pose de la verrière et l'enlèvement de l'échafaudage.

#### b • Présentation du dossier photographique

Tirages collés sur bristol neutre ou papier fort neutre pour l'exemplaire original, et légendés (n° de la baie et n° du panneau pour les verrières figurées).

### c • Relevés des travaux exécutés

Ceux-ci comprendront :

- le relevé sur papier millimétré des panneaux de forme pour le calcul des surfaces ;
- un relevé du réseau des plombs ou une reproduction du frottis avec le report des interventions principales :
  - collages de pièces,
  - refixages de grisailles,
  - changements de pièces,
  - ressertissages localisés, etc.

L'échelle utilisée devra être précisée.
Le mémoire de restauration devra mentionner le nom de tous les produits employés et leur concentration.

## C • DOSSIER N° 3, DOSSIER COMPLET

Ce dossier convient aux verrières de grand intérêt historique et artistique, et notamment pour toutes les verrières figurées antérieures au XIX$^{e}$ s.

### a • Prises de vue

La prise de vue pour archivage se fera uniquement sur film argentique.

- format : format 24 x 36 ou moyen format (6 x 6 à 6 x 9) ; pour les verrières de grande qualité, le moyen format est fortement recommandé et devra être spécifié au CCTP ;
- l'échelle de prise de vue sera choisie de telle façon que, pour obtenir un tirage au 1/10$^{e}$, l'agrandissement du négatif ne dépasse pas 1,5 X ;
- nombre de clichés : 2
- une prise de vue *in situ* avant dépose de l'ensemble de la verrière, en couleurs ;
- une prise de vue en atelier, panneau par panneau avant et après intervention, en couleurs et en noir et blanc pour archivage;
- une vue générale *in situ* de la baie après restauration de la verrière, et enlèvement de l'échafaudage, en couleur.

Le CCTP peut en outre prescrire des prises de vue d'ensemble ou de détail en couleurs en cours d'intervention (notamment inscriptions, armoiries, etc.), ainsi que des positifs couleurs.

### b • Présentation du dossier photographique

- Les négatifs, accompagnés d'une planche contact, doivent être fournis avec le dossier, sous pochettes polyester (spéciale archivage), et référencés. Ils sont destinés à être archivés aux archives photographiques de la direction de l'architecture et du patrimoine ;
- les tirages des vues générales seront collées sur bristol neutre et dûment légendées ;
- les tirages des clichés panneau par panneau feront l'objet d'un photomontage au 1/10$^{e}$ en un exemplaire destiné à la Médiathèque du Patrimoine ;
- le photomontage sera ensuite photographié et éventuellement réduit pour être reproduit au format A4 ou A3 plié dans le nombre d'exemplaires requis, dont un destiné à la Conservation régionale des monuments historiques.

### c • Relevés des travaux exécutés

Un relevé du réseau des plombs ou une reproduction du frottis sera établi avec report graphique des interventions réalisées (cf. signes conventionnels), qui comprendra, en deux planches ou plus en fonction de la lisibilité requise :

- un état avant intervention avec critique d'authenticité simplifiée ( pièces d'origine, de restauration ancienne, de restauration récente, déplacées, retournées, bouche-trous, etc.) ;
- un relevé des interventions réalisées (collages, doublages de pièces, refixages de grisailles, remplacements de pièces, ressertissages localisés, etc.).

L'échelle du relevé doit être précisée.

### d. Rapport d'intervention

Ce rapport prendra la forme d'une fiche normalisée fournie par l'administration :

- fiche générale d'identification de l'opération ;
- fiche baie par baie, comprenant le constat d'état et les principales opérations réalisées avec les produits correspondants et leur concentration (cf. annexe Vitrail 1).

**CODE GRAPHIQUE**

1. Critique d'authenticité

*Cette critique d'authenticité est généralement faite par un historien du vitrail dans le cadre d'une étude préalable ou au cours des travaux de restauration. On peut choisir entre la représentation en hachures, conforme aux normes du CVMA, et la représentation en couleurs. Les indications peuvent être portées à la main sur calques ou par informatique sur calques numériques (cf. code p. 14).*

2. Constat d'état

*Ce constat d'état est généralement fait dans le cadre d'une étude préalable ou d'un projet architectural et technique, par un restaurateur spécialisé ou un maître-verrier.*
*Les rectangles représentent symboliquement les pièces, le trait d'entourage le plomb.*

*NB. Suivant la complexité du relevé on peut opter pour les motifs ou pour les à-plats de couleur, ou combiner les deux.*

| | |
|---|---|
| Casses | |
| Plombs de casse | |
| Aile de plomb | |
| Pièce retournée | |
| Altérations par cratères | |
| Altérations uniformes | |
| Peintures fragiles | |
| Patines ou dépôts divers | |
| Altérations biologiques | |

### 3. Interventions

*Ce relevé des interventions est généralement inclus dans le dossier documentaire et des ouvrages exécutés.*
*Les rectangles représentent symboliquement les pièces, le trait d'entourage le plomb.*

*NB. Suivant la complexité du relevé on peut opter pour les motifs ou pour les à-plats de couleur, ou combiner les deux.*

| | |
|---|---|
| Montage Tiffany | |
| Collage bord à bord | |
| Comblement d'une lacune | |
| Collage avec comblement d'une pièce grugée | |
| Pièce remplacée | |
| Plomb remplacé | |
| Soudure de consolidation | |
| Doublage | D |
| Refixage de grisaille | |
| Patine à froid | P |
| Pièce dépiquée-repiquée | R |

# Chapitre 7
# MAINTENANCE

L'idée de maintenance ou d'entretien recouvre ici une notion technique et non budgétaire : toutes les opérations effectuées sur place, sans dépose de panneaux, qui visent à prolonger un état de conservation jugé satisfaisant et à reporter une intervention plus lourde. Dès lors qu'il y a dépose, il s'agit d'une opération de restauration (Cf. ch. 1, Conservation-Restauration de verrières).

## 1°• ENTRETIEN DES PANNEAUX DE VITRAIL

Cette notion comprend :
- les nettoyages limités et traitements biocides,
- les repiquages ponctuels de pièces,
- les masticages ponctuels au pouce,
- les changements et resserrages d'attaches limités,
- les réfections de solins et calfeutrements.

**Doivent être exclus des opérations d'entretien**, pour faire l'objet d'une véritable intervention de restauration en atelier :
- tous les nettoyages de dépôts adhérents (produits de corrosion, patines, etc.) nécessitant notamment l'emploi de solutions chimiques ;
- tous les types de nettoyages, lorsque la grisaille les émaux ou les peintures sont altérés ou fragiles ;
- tous refixages de grisaille ;
- les repiquages de pièces nombreuses ;
- les masticages liquides à la brosse ;
- les soudures sur le réseau à l'exception de celles liées au changement ponctuel d'attaches.

Une opération d'entretien peut être l'occasion de réaliser un état sanitaire complet de la verrière en vue d'une restauration ultérieure éventuelle.

### A • NETTOYAGES

Les nettoyages effectués sur place ne peuvent éliminer que des dépôts peu adhérents.
Avant toute intervention, la vérification préalable de l'état de la grisaille, émaux, peintures à froid, s'impose.
Le nettoyage ne sera fait qu'à l'éponge humide imprégnée d'eau sans additifs. L'ajout de tout autre produit ne pourra être fait qu'avec l'accord exprès du maître d'œuvre.
Pour les traitements biocides, s'il y a un développement important, le traitement en atelier s'impose. Dans le cas de développements limités, on peut envisager un premier nettoyage sur place avec des compresses jetables, suivi d'un traitement *biocide* par pulvérisation, après identification des micro-organismes présents. Ce type de traitement aura néanmoins une action limitée. Il suppose la vérification préalable de l'état de conservation des grisailles, émaux, peintures à froid : toute altération ou fragilité de ceux-ci doit entraîner **un traitement en atelier**.

**Procédés à exclure :**
- tous lavages à l'eau sous pression,
- tous grattages mécaniques,
- toute application de produits chimiques sans accord exprès du maître d'œuvre.

### B • REPIQUAGES DE PIÈCES CASSÉES

Les opérations de dépiquages-repiquages sur place ne peuvent concerner qu'un nombre limité de pièces, et supposent un bon état général de conservation du réseau des plombs.
Les masticages de pièces repiquées se font au mastic de consistance épaisse (à l'huile de lin ou au butyl), au pouce ou à la spatule.

### C • REMASTICAGE

*In situ*, le remasticage se fait au pouce ou à la spatule (cf. ch. 1, Conservation-Restauration de verrières, 8). Le masticage liquide à la brosse est exclus.

### D • RESSERRAGE OU REMPLACEMENT DES ATTACHES

Le resserrage des attaches en plomb est possible, à condition que l'état de leurs soudures soit satisfaisant.
Le remplacement des attaches *in situ* est très délicat et ne peut être que ponctuel.

## 2°• ENTRETIEN DES ARMATURES (CF. CH. 4, ARMATURES DE VERRIÈRES)

Cette notion comprend :

- les remplacements de pièces mobiles de l'armature (feuillards, vergettes, clavettes) et leur traitements anti-corrosion.
- Les remplacements de pannetons : Ces remplacements ne sont possibles qu'après dépose des panneaux de vitrail.
- Les remises en peinture ponctuelles des armatures fixes.
  Il s'agit d'une remise en peinture ponctuelle de zones faiblement oxydées. Il ne peut s'agir d'un véritable traitement anti-corrosion. Tout traitement global d'une armature oxydée suppose la dépose préalable des panneaux de vitrail et entre dans le champs d'une véritable opération de restauration.

## 3°• ENTRETIEN DE VERRIÈRES DE PROTECTION

Ce chapitre concerne le nettoyage de verrières de protection, orifices de ventilation, panneaux de vitrail ou volumes de verre. On se référera aux chapitres correspondants (cf. ch. 5, Protection de verrières).

## 4°• RÉFECTION DES SOLINS ET CALFEUTREMENTS

La remise en état des solins sur armature et calfeutrements sur pierre ou maçonnerie est destinée à restaurer l'étanchéité de la verrière.
Les matériaux choisis sont les mêmes qu'en restauration (cf. ch. 3, Pose de panneaux de vitrail).
Les réfections de calfeutrements se font parfois en raccord de l'existant et doivent en respecter la granulométrie et la coloration.
La réfection des solins de mastic sur armature impose la dépose des feuillards et l'élimination soignée des anciens solins sans endommager les panneaux de vitrail.

# Annexe 1

**Date :**

## FICHE DE SYNTHESE VITRAIL

Commune :
Département (N°) :

Édifice
Région :

N° CVMA de la baie :
Dimensions de la baie :
N° du panneau ou des panneaux
Dimensions du panneau ou des panneaux
Époque :
Auteur :

Restaurations antérieures, dates :

Maître d'œuvre :
Maître d'ouvrage :
Atelier :
N° du marché ou de l'engagement :
Dates d'intervention (début/fin) :

Etude du LMRH (n° note ou rapport) :

Photo de la baie (ou des panneaux)

## DESCRIPTION DE L'OEUVRE

**Cas particuliers**

- **Origine**:

- **Type de verrière**:

- **Iconographie** :

- **Technologie des verres**:

- **Technique de décor** :

- ☐ Grisaille face interne
- ☐ Jaune d'argent face interne
- ☐ Émaux
- ☐ Peinture à froid
- ☐ Gravure à l'outil
- ☐ Autre (préciser)
- ☐ Grisaille face externe
- ☐ Jaune d'argent face externe
- ☐ Sanguine ou Jean Cousin
- ☐ Gravure à l'acide

- **Mise en plombs** :

- ☐ Plombs anciens
- ☐ Montages en chefs-d'œuvre
- ☐ Plombs modernes (XIX$^{e}$ .XX$^{e}$ s.)

*Commentaires :*

- **Armatures** :

- ☐ Pose extérieure
- ☐ Pose intérieure
- ☐ Pose mixte
- ☐ Barlotières droites
- ☐ Barlotières à la forme des panneaux
- ☐ Profils en T
- ☐ Grillage de protection
- ☐ Verrière de protection

Nature du matériau :

ETAT DE L'OEUVRE

## RESTAURATIONS ANTERIEURES

**Cas particuliers**

- ☐ Pièces de restauration ancienne
- ☐ Pièces retournées
- ☐ Bouche-trous ou pièces déplacées
- ☐ Bouchages avec du plomb
- ☐ Plombs de casse ☐ Aile de plomb de casse (bretelles)
- ☐ Pièces grugées sous les plombs de casse
- ☐ Repeints à froid
- ☐ Patine intérieure ☐ Patine extérieure
  Nature : Nature :
- ☐ Restes de masticage
- ☐ Étiquettes, encollages

*Commentaires :*

## ALTERATIONS

**Cas particuliers**

- ☐ Pièces manquantes
- ☐ Déformations des panneaux

- ☐ Plombs cassés ☐ Plombs ouverts
- ☐ Réseau des plombs faible ☐ Plombs corrodés
- ☐ Mastic altéré

- ☐ Verres brisés ✧ casses en étoile
  ✧ verres brisés avec lacunes

| | *face interne* | *face externe* |
|---|---|---|
| ☐ Altération uniforme | ☐ | ☐ |
| ☐ Cratères | ☐ | ☐ |
| ☐ Piqûres | ☐ | ☐ |
| ☐ Rayures | ☐ | ☐ |
| ☐ Brunissement(oxydation du Mn probable) | ☐ | ☐ |
| ☐ Coulure d'oxydation (rouille, etc.) | ☐ | ☐ |
| ☐ Dépôt de suie | ☐ | ☐ |
| ☐ Salissures/poussières | ☐ | ☐ |
| ☐ Ciment, mortier, concrétion de surface, etc. | ☐ | ☐ |
| ☐ Recouvrement biologique | ☐ | ☐ |

Nature :

- ☐ Grisaille ✧ *traits effacés* ✧ *lavis effacés*
  ✧ *pulvérulence* ✧ *écaillages*
  ✧ *grisaille encore en place stable* ✧ *soulèvement*

- ☐ Émaux ✧ *disparition partielle ou totale* ✧ *noircissement*
  ✧ *écaillage et/ou soulèvement*

- ☐ Altérations des peintures à froid

- ☐ Calfeutrement altéré
- ☐ Armatures déformées
- ☐ Armatures corrodées ✧ *ponctuellement* ✧ *totalement*

- ☐ Grillage de protection altéré

*Commentaires :*

TRAITEMENT REALISE

## NETTOYAGE

☐ Pièce à pièce sans dessertissage ☐ Pièce à pièce avec dessertissage

| | face interne | face externe |
|---|---|---|
| ☐ Eau déminéralisée | ☐ | ☐ |
| ☐ Alcool éthylique à __ % dans l'eau | ☐ | ☐ |
| ☐ Alcool éthylique pur | ☐ | ☐ |
| ☐ Acétone | ☐ | ☐ |
| ☐ Thiosulfate de sodium | ☐ | ☐ |
| ☐ EDTA + 3 % bicarbonate d'ammonium (+ 1 % de Carbopol ®) | ☐ | ☐ |
| ☐ Autre : | ☐ | ☐ |

*Commentaires :*
NB : C= application par compresses G = application par gel

**Cas particuliers**

## ELIMINATION DES MICRO-ORGANISMES

☐ Élimination mécanique du recouvrement biologique
Méthode :
☐ Traitement biocide
Nature :
*Commentaires :*

**Cas particuliers**

## CONSOLIDATIONS

- **Refixage:**

☐ Refixage de la grisaille
Produit :
Solvant :
Concentration
Localisation :
*Commentaires :*

☐ Refixage des émaux
Produit :
Solvant :
Concentration
Localisation :

- **Remise en plombs:**

☐ Totale ☐ Partielle ( __%) ☐ Aucune

- **Intervention:**

☐ Remplacement de plomb d'entourage ☐ Soudure de consolidation

- **Réparation de pièces brisées:**

☐ Par pose d'un cuivre de casse (montage « Tiffany »)
☐ Par collage bord à bord
✧ *Silicone*
✧ *Epoxy (sans doublage pièce à pièce)* ✧ *Epoxy (avec doublage pièce à pièce)*

☐ Par collage avec comblements des zones lacunaires

| | collage silicone | collage époxy | doublage |
|---|---|---|---|
| ✧ *Comblement en verre* | ☐ | ☐ | ☐ |
| ✧ *Comblement en silicone* | ☐ | ☐ | ☐ |
| ✧ *Comblement en époxy* | ☐ | ☐ | ☐ |

☐ Par remplacement d'un plomb de casse
*Commentaires :*

☐ Verres de doublage non thermoformé
☐ Verres de doublage thermoformé
☐ Traitement et montage particulier

**Cas particuliers**

1

TRAITEMENT REALISE

## RESTITUTIONS, COMPLEMENTS ET PATINES

Cas particuliers

- **Compléments des lacunes de pièces ou de panneaux**

☐ Réintégration illusionniste ✧ d'après documents ✧ sans documents
☐ Réintégration lisible par pièces patinées ou peintes
☐ Vitrerie d'accompagnement ☐ Création d'accompagnement
☐ Autre :
*Commentaires :*

- **Traitement des pièces visuellement désaccordées**

☐ Remplacement par une pièce neuve
☐ Patine à froid ✧ *sur la face externe* ✧ *sur la face interne*
Produit : Solvant : Concentration :
Localisation :
*Commentaires :*

- **Compléments des lacunes de grisaille**

☐ Peinture sur le verre de doublage
☐ Retouche à froid ✧ *sur la face externe* ✧ *sur la face interne*
Produit : Solvant : Concentration :
Localisation :
☐ Raccord sur la résine de comblement
Produit : Solvant : Concentration :
Localisation :
*Commentaires :*

## MASTICAGE

Cas particuliers

☐ Pas de masticage
☐ Masticage au pouce (spatule) ✧ *sur la face externe* ✧ *sur la face interne*
Produit :
☐ Masticage à la brosse ✧ *sur la face externe* ✧ *sur la face interne*
Produit :
*Commentaires :*

- **Insertion des panneaux dans un cadre métallique**
  ✧ non
  ✧ oui (nature du cadre : )

- **Solins et calfeutrements**
  ✧ solin sur fers de la verrière ancienne
  nature :
  ✧ calfeutrements sur maçonnerie de la verrière ancienne
  nature :
  solin sur fers de la verrière de protection
  nature :
  ✧ calfeutrements sur maçonnerie de la verrière de protection
  nature :

TRAITEMENT REALISE

# FICHE DE SYNTHESE SERRURERIE

Commune :
Département (N°) :

Édifice
Région :

N° CVMA de la baie :
Dimensions de la baie :
Époque :

Maître d'œuvre :
Maître d'ouvrage :
Atelier :
N° du marché ou de l'engagement :
Dates d'intervention (début/fin) :

## DESCRIPTION DE L'OEUVRE

**Cas particuliers**

- **Type de serrurerie**
  ☐ Barlotières droites ☐ Barlotières en forme ☐ Barlotières à vis à violon
  ☐ Fers à T
  Nature et nuance du métal d'origine *(ex : ferreux, fonte)* :

- **Remplacement de la serrurerie**
  ☐ partiel ☐ total
  Cause *(ex : corrosion, réalisation d'une verrière de protection)* :
  Nature et nuance du métal de substitution *(ex : acier, inox 316L, laiton BL2)* :
  Nature des opérations de mise en œuvre *(ex : coudage à froid, soudage TIG)* :

- **Conservation-restauration des armatures anciennes**
  ☐ Dépose
  ☐ Dégauchissage ✧à chaud ✧à froid
  ☐ Autre opération :

- **Traitement de protection** (sur ancien ou sur neuf)

**Métaux ferreux**

☐ Décapage
✧ brossage
✧ projection d'abrasif
✧ autre :
Qualité du décapage obtenu (DS)
☐ Préparation de surface :
*(ex : transformateur de rouille, recouvrement métallique (galvanisation, métallisation zinc)*
nature :
méthode :
épaisseur :
☐ Système anticorrosion :
✧ marque et type de peinture
✧ n° de certification ACQPA
✧couche primaire — nature *(ex : glycéro, époxy)* :
nombre de couches :
épaisseur totale (micromètres) :
✧couche intermédiaire — nature *(ex : glycéro, époxy)*
nombre de couches :
épaisseur totale (micromètres) :
✧couche de finition — nature *(ex : glycéro, polyuréthane)* :
nombre de couches :
épaisseur totale (micromètres) :

TRAITEMENT REALISE

**Métaux non-ferreux**

☐ cuivreux

nuance :

✧ patine

type :

✧ préparation de surface

✧ peinture type marque :

✧ nature du primaire :

☐ autre :

traitement de surface

## PROTECTION DE LA VERRIERE

- **Grillage de protection**

  ☐ Ancien grillage remis en état

  Traitement :

  ☐ Grillage neuf

  Nature du cadre :

  Nature du grillage :

- **Verrière de protection**

  ☐ Type de panneaux

  ✧ panneaux de verres découpés et mis en plomb

  ✧ panneaux de verre feuilleté

  ✧ volumes de verre thermoformés

  ✧ autre :

  ☐ Type d'armatures

  ✧ armature neuve à l'extérieur (indépendante)

  nature :

  ✧ armature ancienne modifiée

  modifications (schéma, métal d'apport, type d'assemblage)

  ✧ armature neuve à la place de l'ancienne

  nature :

- **Déplacement de la verrière ancienne vers l'intérieur**

  ☐ non

  ☐ oui

  *Commentaires :*

**Cas particuliers**

# Annexe 2

Corpus vitrearum

## Directives pour la conservation et la restauration des vitraux

Deuxième édition, Nuremberg 2004

## 1 • INTRODUCTION

**1.1** Les présentes directives ont pour objectif de définir les principes déontologiques qui régissent la conservation et la restauration des vitraux, de toutes époques. Elles sont conçues comme un texte de référence pour les restaurateurs et les experts en conservation, et comme une introduction et une source d'information pour les particuliers et les organisations responsables de la conservation des vitraux.

**1.2** Les premières directives ont été rédigées en 1989 par le Comité international du Corpus Vitrearum pour la conservation des vitraux, en liaison avec le comité scientifique international pour le vitrail de l'ICOMOS. Les versions originales du présent document ont été rédigées en anglais, français et allemand. Toutes les traductions dans une autre langue devront être prises en charge par les comités nationaux du Corpus Vitrearum et approuvées par le Comité international pour la conservation. Le Corpus Vitrearum est une organisation internationale dont l'objectif est la recherche sur les verrières historiques et leur publication. Son Comité pour la conservation encourage la conservation et la restauration des vitraux selon les règles énoncées dans le présent texte, coordonne les recherches et encourage les échanges professionnels.

**1.3** Ces directives indiquent des principes propres à la conservation des vitraux et ne répètent pas les principes généraux qui figurent déjà dans d'autres chartes ou codes déonto-logiques reconnus au niveau international. Pour ces derniers on se référera à la *Charte internationale pour la conservation et la restauration des monuments et des sites* (Charte de Venise, ICOMOS, 1964), au document intitulé *Le conservateur-restaurateur : définition de la profession* (Comité de conservation de l'ICOM, groupe de travail sur «la formation en conservation-restauration», Copenhague 1986), l'*ICOM Code of Pro-fessional Ethics* (ICOM, Buenos Aires, 1986), et *aux Directives sur l'éducation et la formation à la conservation des monuments, ensembles et sites* (ICOMOS, Colombo, 1993).

**1.4** Dans le cadre du présent document, le terme de vitrail recouvre la notion de vitraux peints et/ou colorés aussi bien que celle de verrières ornementales en verre blanc mis en plombs, de verres montés au cuivre de type Tiffany, de dalles de verre et de tout autre type de verrière, que ces oeuvres soient conservées *in situ*, déposées dans un musée ou dans une collection privée.

**1.5** La valeur intrinsèque d'un vitrail est égale à celle de toute autre oeuvre d'art ou monument patrimonial, et par conséquent sa conservation mérite le même niveau d'attention et de professionnalisme, sans tenir compte de son époque ou de sa valeur marchande. Un vitrail ne peut être abordé de manière isolée. Son contexte historique et matériel, comprenant sa pose dans la baie et son environnement architectural, doit être pris en compte dans la programmation et la réalisation de toute opération de conservation. La conservation des vitraux implique par conséquent la collaboration, au sein d'une équipe pluridisciplinaire, de spécialistes tels que (la liste n'est pas limitative), des restaurateurs qualifiés et expérimentés, des historiens d'art, des architectes, des scientifiques, des techniciens du bâtiment et, lorsqu'ils existent, des représentants de services publics en charge de la conservation du patrimoine culturel. Le choix de différents professionnels impliqués dans le processus de conservation des vitraux doit se fonder sur leur formation initiale, sur leur souci de mise à jour continuelle de leurs connaissances et sur leur expérience, faisant passer la qualité de l'intervention devant toute considération financière.

**1.6** Le présent document a pour objectif de traiter chaque composante d'un projet de conservation ou de restauration de vitraux. Même si certains aspects secondaires peuvent se révéler inadéquat dans un projet donné, aucun des principes suivants ne doit être écarté *a priori* d'un concept global de conservation/restauration.

## 2 • RECHERCHE ET DOCUMENTATION

**2.1** La première étape dans un projet de conservation comprend une étude sur l'histoire de l'oeuvre, sa fonction, ses matériaux et techniques, les traitements qu'elle a subis, ainsi que ses conditions actuelles de conservation. Ceci correspond à un type de recherches menées dans le cadre du Corpus Vitrearum. Il est donc hautement bénéfique de coordonner ces études préalables avec les travaux du Corpus Vitrearum. Le cas échéant, des études technologiques et des analyses scientifiques des différents matériaux constitutifs de l'oeuvre, des produits d'altération et des dépôts superficiels devront être également entreprises. Les résultats de cette étude préliminaire forment la base de tout concept de conservation et de restauration, qui définit à la fois les objectifs généraux de l'opération, ses différentes étapes techniques et une stratégie de conservation à long terme. A partir de ce document, un cahier des charges est établi, qui pourra ensuite servir de base à l'évaluation des travaux pendant et après l'intervention.

**2.2** Une documentation complète doit être impérativement établie sur toutes les étapes de l'opération, depuis l'étude préliminaire jusqu'aux travaux, incluant l'ensemble des techniques et matériaux de conservation et de restauration employés. Un constat d'état écrit doit être rédigé par un restaurateur pour tout prêt de panneau à une exposition temporaire. La conservation à long terme et l'accessibilité des documents doivent être assurées à la fois par le propriétaire, par une institution publique, quand elle existe, et par le restaurateur.

## 3 • CONSERVATION PREVENTIVE

**3.1** La notion de conservation préventive est tout à fait fondamentale pour assurer la préservation des vitraux, qu'ils soient conservés *in situ*, comme hors de leur contexte architectural. La création d'un environnement le plus sain et le plus stable possible en est un élément principal. La surveillance et l'entretien régulier des verrières et de leur environnement architectural, dans le cadre d'un planning d'entretien, forment les bases de la conservation préventive des vitraux.

### 3.2 • VERRIERES DE PROTECTION

**3.2.1** Les vitraux conservés *in situ* étant particulièrement sensibles aux agressions mécaniques et environnementales, la mise en place de verrières extérieures de protection constitue une part très importante de toute opération de conservation préventive. L'objectif principal d'un système de protection par verrière extérieure est de libérer le vitrail ancien de sa fonction de barrière d'étanchéité aux intempéries, de le protéger contre les agressions mécaniques et environnementales, et enfin d'éviter la condensation à la surface des verres anciens. Chaque baie étant unique de par ses dispositions propres, la conception de sa verrière de protection doit prendre en compte les besoins spécifiques du vitrail et de son cadre architectural aussi bien que l'impact physique et visuel sur le monument lui-même. Il existe donc différents systèmes de protection qui viennent s'adapter aux cas particuliers et

qui vont des systèmes où la couche d'air entre les deux parois est renouvelée par l'air extérieur, jusqu'aux verrières dites isothermes ventilées par l'air intérieur de l'édifice et qui constituent le mode de protection le plus efficace à ce jour. Une bonne connaissance du mode de fonctionnement et des effets des doubles verrières est indispensable pour concevoir un système adapté. La mise en place d'une verrière de protection peut permettre de minimiser les interventions de restauration, voire même d'en mettre en question la nécessité, et facilite ensuite la dépose des panneaux de vitrail. L'installation de grillages de protection peut apporter une garantie supplémentaire contre les chocs mécaniques, mais leur impact visuel doit être pris en considération.

### 3.3 • MANUTENTION, TRANSPORT, STOCKAGE ET PRESENTATION AU PUBLIC

3.3.1 Les panneaux de vitrail doivent être manipulés de façon très particulière et seules des personnes spécifiquement formées devront être habilitées à les déposer et à les déplacer.

3.3.2 Pour le transport, il est conseillé de placer les panneaux dans des caisses, en position verticale bien maintenue. Les panneaux dont la mise en plombs, ou la peinture, est fragile, les panneaux de petite taille, ainsi que les fragments, pourront être transportés à plat, à condition que toute leur surface repose sur le support. Pour le stockage, les panneaux peuvent être disposés verticalement ou à plat, s'ils s'appuient sur un support continu.

3.3.3 Le choix des matériaux d'emballage, de stockage et de présentation des panneaux doit s'appuyer sur une bonne connaissance de leur stabilité chimique, de leurs propriétés d'émanations gazeuses, de leur pouvoir absorbant ou abrasif.

3.3.4 Pour leur présentation muséographique, il faut prendre soin de réduire au maximum l'éclairement et l'échauffement dus aux lampes dans les caissons lumineux, qui peuvent altérer certains matériaux de conservation. Les panneaux doivent être protégés du contact direct avec le public au moyen de clôtures appropriées.

## 4 • CONSERVATION ACTIVE ET RESTAURATION

4.1 Les traitements de conservation et de restauration doivent se fonder sur la bonne connaissance de l'histoire de l'oeuvre et sur une véritable stratégie de conservation à long terme. Ils doivent être prolongés par des mesures de conservation préventive. Ils ne doivent pas être appliqués de façon systématique sur l'ensemble du panneau. Dans tout planning d'intervention il faut prévoir un temps suffisant pour la réflexion, la consultation de différents spécialistes et la documentation, et ce tout au long de l'opération.

### 4.2 • ACCES AUX OEUVRES, CONSERVATION IN SITU ET TRAITEMENAVANT DEPOSE

4.2.1 Pour assurer la sécurité des oeuvres conservées *in situ* pendant leur examen et leur traitement, il faut prévoir un accès aisé à la verrière. Dans bien des cas cela suppose la mise en place d'échafaudages faits sur-mesures, de part et d'autre de la verrière, sans exclure cependant, dans certains cas particuliers, d'autres moyens d'accès. En raison des risques que comporte toute dépose, et dans la mesure où la nature et l'étendue des traitements nécessaires le permettent, l'intervention *in situ* doit être considérée comme la première option. Cependant, si les panneaux doivent être déposés, on prendra soin de mettre en oeuvre des mesures totalement réversibles et non destructives pour les consolider provisoirement.

## 4.3 • TRAITEMENT DE LA SURFACE DES VERRES

4.3.1 Tout traitement de la surface des verres et de leur décor doit être précédé d'un examen attentif et complet afin d'identifier les matériaux originaux, les phénomènes et produits d'altération ainsi que les dépôts étrangers. On peut établir comme règle générale que les produits d'altération sont la manifestation de l'histoire matérielle de l'oeuvre. Le principal objectif du traitement de surface est d'assurer la conservation du verre et non pas de retrouver à tout prix la transparence en enlevant ces produits d'altération et dépôts. Lorsqu'il s'impose, le nettoyage doit être entrepris de façon contrôlée et précisément localisée, en prenant en compte les risques posés par les méthodes et produits employés. Les trempages et applications de compresses sur l'ensemble d'un panneau doivent être absolument évités.

4.3.2 La consolidation des grisailles ne peut être conseillée que lorsque celles-ci sont menacées de disparition. Dans tous les cas où la grisaille semble fragile mais n'est pas écaillée ou pulvérulente, on préférera adopter des méthodes de conservation préventive. La recuisson de verres anciens ne doit en aucun cas être admise.

## 4.4 • TRAITEMENT DES LACUNES ET AJOUTS

4.4.1 Les lacunes, bouche-trous, réorganisations et additions postérieures, constituent des témoignages de l'évolution historique de l'oeuvre, et doivent être précisément étudiés et documentés dans le cadre de l'étude préliminaire à toute intervention de conservation ou de restauration. Les réintégrations de lacunes de verre ou de peinture, remises en ordre, ou remplacement d'anciennes pièces de restauration ne devront être entrepris que si ils sont appuyés sur une étude d'histoire de l'art et d'histoire des techniques qui les justifie pleinement. Une telle intervention devra respecter les règles d'intervention minimale et de réversibilité, usuelles en matière de conservation. Toute pièce de verre neuve devra être identifiée par un procédé permanent, avec indication de date et signature ou tout autre mode d'identification.

## 4.5 • CONSOLIDATION DE LA STRUCTURE

4.5.1 La conservation des vitraux comprend le traitement des éléments de structure des panneaux ainsi que du cadre architectural de la baie lui-même, lorsque la verrière est conservée *in situ*. C'est pourquoi il importe d'impliquer dans l'opération des spécialistes des autres matériaux concernés.

4.5.2 La structure porteuse d'un panneau de vitrail peut être constituée de baguettes de plomb, de zinc ou d'autres métaux, de feuilles de cuivre, de ciment, de mastic ou d'autres matériaux encore. Quelle que soit son époque, cette structure fait partie intégrante de la conception même du panneau et contribue à sa valeur artistique. Sa conservation est un objectif essentiel, même si l'on peut prévoir des interventions, y compris de remplacement, lorsque celles-ci sont motivées par l'état de conservation de cette structure ou par les besoins de conservation des verres eux-mêmes. Dans certains cas exceptionnels on peut admettre des interventions sélectives, si elles sont justifiées par la nécessité de redonner à l'oeuvre une certaine lisibilité. Pour redresser un panneau, la priorité devrait être donnée à tout moyen qui permette la conservation de sa structure plutôt que son remplacement. On ne peut accepter le trempage ou le chauffage d'un panneau pour le remettre en forme. Le masticage ou remasticage, n'est pas toujours nécessaire et dépend de l'état et du lieu de conservation futur du panneau. Lorsqu'elle s'avère utile cette opération doit être faite au doigt et de façon localisée.

4.5.3 De même, lorsque la réparation de pièces de verre brisées s'avère nécessaire, le choix des matériaux d'assemblage doit prendre en compte à la fois leur durabilité et les conditions de conservation futures du panneau.

*Ces directives ont été rédigées par un groupe de travail du Comité international pour la conservation des vitraux et approuvées par l'Assemblée générale du Corpus vitrearum international, lors du XXII[e] colloque tenu à Nuremberg (Allemagne) le 1er septembre 2004.*

## Annexe 3

# GLOSSAIRE

**Aile**
Partie supérieure ou inférieure de la baguette de plomb où est inséré le verre.

**Altération**
Phénomènes de détérioration d'un vitrail liés à des accidents volontaires ou involontaires, ou à une usure, tels que : bris de verre, déformation des panneaux, défectuosité du *réseau de plomb*, mauvaises restaurations...

Phénomènes de détérioration d'un vitrail liés principalement à la corrosion de la matière, c'est-à-dire le verre et la peinture vitrifiable. Les verres des vitraux sont soumis à l'action d'agents atmosphériques, parmi lesquels l'eau et les polluants ($SO^2$, NOx) sont les principaux responsables de leurs altérations.

**Âme**
Partie centrale reliant les deux ailes du plomb.

**Armature**
Ensemble de la structure en métal qui, scellée dans la maçonnerie, est destinée à recevoir les panneaux d'une verrière.

**Attache**
Baguette de plomb souple soudée sur un panneau et servant à le fixer sur la vergette.

**Baie**
Ouverture pratiquée dans un mur où sera placée une verrière. Une baie peut être partagée par des meneaux ou montants de pierre en lancettes et surmontée d'un tympan lui-même formant un réseau divisé par un remplage en pierre. Lorsque la baie est circulaire, de petites dimensions et sans divisions par des meneaux, elle se nomme un oculus : sinon, il s'agit d'une rosace ou d'une rose.

**Barlotière**
Elément de l'armature métallique destiné à recevoir le panneau. Elle se compose de plusieurs pièces :
1. d'un fer plat à section rectangulaire muni de pannetons sur lesquels est posé le panneau,
2. d'un feuillard ou barre plate qui est percé de mortaises correspondant à l'emplacement des pannetons,
3. des clavettes qui sont placées dans les pannetons et permettent ainsi de maintenir le panneau contre le feuillard.

Lors de la dépose des panneaux, la barlotière reste fixée dans la baie.

**Biocide**
Terme générique d'un produit utilisé pour le traitement des micro-organismes. Ce terme peut englober les bactéricides (bactéries), les fongicides (champignons)et les algicides (algues).
Il est important de bien vérifier sur la notice les substances actives qu'il contient afin d'identifier son action précise.

**Bordure**
Surface de vitrail servant d'encadrement partiel ou complet aux scènes ou à la vitrerie.

**Bornes à navettes**
Motif composant une vitrerie géométrique à base de carrés et d'hexagones allongés.

**Bouche-trou**
Pièce de verre provenant d'une autre verrière ou d'un autre panneau et réemployée sans souci de cohérence.

**Calfeutrement**
Matériau qui crée l'étanchéité entre les panneaux latéraux et la maçonnerie de la baie. Le calfeutrement est généralement constitué de mortier de chaux aérienne et sable

**Calibrage**
Découpage avec des ciseaux à double lame du tracé d'une verrière, afin d'obtenir des calibres, c'est-à-dire les patrons de chaque pièce de verre.

**Carton**
Dessin en grandeur d'exécution d'une verrière établi sur un papier fort. Le carton doit porter toutes les indications nécessaires à la fabrication d'une verrière.

**Chant**
Tranche verticale d'une pièce de verre.

**Clavette**
Petite pièce métallique plate qui, introduites dans les lumières (orifices) des pannetons, bloque le feuillard contre le panneau de vitrail pour le maintenir en place

**Clinquant**
Feuille de métal très fine (cuivre, zinc, laiton) découpée en calibre, destinée à faciliter la coupe de plusieurs verres de même forme.

**Collage**
Action de réparer une pièce brisée à l'aide d'une résine époxy ou une colle silicone.

**Condensation**
Phénomène physique provoquant le passage de la vapeur d'eau à l'état liquide, qui se produit sur la face interne des verres, dans certaine conditions d'humidité et de température.

**Conduite des plombs**
Tracé du réseau des plombs dont l'observation attentive, notamment des modes d'assemblage, permet d'analyser et parfois de reconstituer la composition originelle.

**Consolidation**
Opération destinée à donner de la cohésion au réseau de plombs, au verre ou à la peinture.

**Couche perturbée**
Partie du verre modifiée chimiquement par les processus de lixiviation.

**Cratère**
Altération du verre très localisée. Elle se manifeste au début par de petits trous plus ou moins rapprochés et profonds, et remplis de produits d'altération (piqûres) qui grossissent jusqu'à former des cratères.

**Cuisson**
Fixation sur le verre de la grisaille, des émaux ou du jaune d'argent obtenue en atteignant la température de ramollissement du verre.

**Dalle de verre**
Pièce de verre coulée de dimensions restreintes et d'une épaisseur de 3 à 5 centimètres environ. Une verrière en dalles de verres se compose de pièces de dalles coupées, serties dans du ciment, armé ou non, ou des résines.

**Décollement**
Altération des peintures (grisailles, émaux) par soulèvement.

**Dépiquage**
Action d'enlever une pièce de verre d'un vitrail, en soulevant les ailes des baguettes de plomb.

**Dépose**
Action qui aboutit à retirer une verrière de sa baie, généralement pour être restaurée.

**Dessertissage**
Opération qui consiste à séparer les pièces de verre en coupant la résille de plomb afin de pouvoir remettre en plombs neufs le panneau.

**Doublage**
Opération destinée à renforcer une pièce de verre brisée en multiples morceaux et recollée, en fixant au dos de celle-ci une pièce de verre incolore thermoformée. Le doublage peut être également utilisé pour restituer un dessin de grisaille disparu, vu en transparence.

**EDTA**
Ethylène Diamine Tétraacétate de sodium, sel disodique, favorisant la dissolution de certains produits d'altération du verre (gypse et syngénite), de la face externe. Ce produit ne peut être employé que sur des pièces non peintes.

**Email**
Poudre de cristal coloré qui permet de peindre le verre. Se fixe par une cuisson à 630°C env. C'est une couleur vitrifiable presque transparente, de teinte claire, posée, soit en faible épaisseur, soit en taches, soit en petites surfaces. Elle est obtenue par combinaison d'un ou plusieurs colorants à base d'oxydes métalliques et d'un fondant, broyés après une cuisson à haute température.

**Epoxy**
Résine uilisée pour la réparation de pièces brisées et réservées aux cas difficiles, avec lacunes.

**Faïençage**
Fissuration réticulaire superficielle d'un matériau.

**Feuillard**
Barre en lame, entre 2,5 et 3 mm d'épaisseur, placée sur la face du panneau pour le serrer contre la barlotière. Barlotière et feuillard maintiennent le panneau de vitrail, car ils sont bloqués par des pointes légèrement recourbées, les clavettes. Généralement en fer forgé, la barlotière et le feuillard sont aussi exécutés en tôle de fer, acier, cuivre, bronze, aluminium ou laiton.

**Filet**
Etroite bande de verre peinte ou non, placée entre deux baguettes de plomb. Sert en général d'encadrement à un médaillon historié ou à une bordure. On appelle filet de scellement le large filet entourant le panneau et placé dans la feuillure de la baie à l'endroit de la jonction de la baie et de la verrière. Ce filet est généralement caché par le *calfeutrement*.

**Fissure**
Fente dans une pièce de verre plus ou moins profonde dans la masse du verre. La fissure peut être due à un léger choc, à un défaut de pose ou encore à une déformation du panneau.

**Fondant**
Dans le verre : oxyde alcalin qui permet d'abaisser la température de fusion de la silice (ex : oxyde de sodium, oxyde de potassium).
Dans la grisaille : silicate de plomb qui, associé aux oxydes métalliques, permet l'adhérence après cuisson de la peinture.

**Fongicide (voir biocide)**
Produit utilisé pour le traitement des moisissures. Il appartient à la famille des biocides.

**Frottis des plombs**
Report sur un matériau souple du réseau des plombs d'une verrière avant restauration, panneau par panneau, pour relever l'emplacement des pièces.

**Gabarit**
Mesure très précise des formes (jours de réseau, lancettes) à garnir de vitraux. Le relevé de ces mesures in situ est l'opération préliminaire à l'exécution d'un vitrail et à la restauration.

**Gravure**
Décor obtenu sur un verre plaqué par abrasion mécanique (gravure à la roue, à l'archet, ...) ou par attaque acide (gravure à l'acide) de la couche colorée, révélant la couche sous-jacente, colorée ou non.

**Grillage**
Treillis généralement métallique fixé sur un cadre, comportant parfois des montants et des traverses, attaché à la maçonnerie derrière la verrière pour la protéger contre les chocs (jet de pierre, ballon, grêle...).

**Grisaille**
Préparation destinée à peindre le verre, composée d'un oxyde métallique (de cuivre ou de fer) associé à un fondant broyé très fin, composé de silicate de plomb. Ce mélange est ensuite délayé avec du vinaigre, de l'eau additionnée de gomme arabique ou de l'essence de térébenthine de façon à obtenir une solution plus ou moins épaisse.
C'est une couleur vitrifiable pouvant donner différentes couleurs selon le pigment choisi.

**Gruger**
Rogner une pièce de verre sur les bords à l'aide d'une pince plate appelée grugeoir. Cette méthode est exclue pour toute pièce ancienne.

**Gypse**
Sulfate de calcium, produit de l'altération chimique du verre.

**Jaune d'argent**
Mélange de sels d'argent et d'ocre jaune neutre. Permet de colorer un verre blanc en jaune, par un processus de cémentation. Le cément est un métal ou un alliage qui diffuse certains de ses éléments plus ou moins profondément dans le verre lors du chauffage. Il se pose sur la face externe du verre et sur la face interne et se cuit comme une grisaille.

**Jean Cousin**
Couleur de cémentation utilisée pour les carnations, à base d'hématite de fer. Permet de rehausser les visages d'un ton rose analogue à celui de la chair.

**Lacune**
Manque dans une verrière, un panneau ou une pièce de verre. On distingue les lacunes de pièces et les lacunes de grisailles.

**Lancette**
Compartiment qui occupe la partie inférieure d'une baie et qui est cantonné par les meneaux et/ou les montants de la fenêtre et dont le sommet ou amortissement forme un arc.

**Lavis**
Procédé qui consiste à passer sur le verre une couche de grisaille mince, parfois à peine discernable, qui a pour effet de modifier la translucidité du verre.

**Lumière**
Ouverture rectangulaire dans un panneton, destinée à recevoir la clavette.

**Lixiviation**
Phénomène d'échange ionique dans le verre, qui résulte de l'action des agents atmosphériques. L'eau et les polluants (SO2, NOx) sont les principaux facteurs d'altération du verre.

**Mastic**
Matériau qui sert à rendre une verrière étanche. Il se compose de blanc de Meudon, d'huile de lin et de siccatif. On distingue le mastic de sertissage qui s'applique sous les ailes de plombs et le mastic de pose, qui se place sur l'armature de la verrière.

**Meneau**
Montant en pierre faisant partie du remplage. Il peut séparer des lancettes ou être un rayon dans une rosace rayonnante.

**Montage Tiffany**
Procédé consistant à interposer un ruban de cuivre, généralement adhésif sur la tranche de chaque fragment d'une pièce de verre brisée. Ce ruban de cuivre est étamé en surface après assemblage des fragments et prend l'apparence en transparence d'un plomb de casse très mince.

**Micro-organismes**
Champignons, algues, lichens, bactéries, facteurs d'altération biologique.

**Nettoyage**
Opération consistant à débarrasser un vitrail des salissures qui s'y sont déposées, d'une patine qu'on lui aura appliquée, ou encore des *microorganismes* (algues, lichens...) et d'une partie des produits d'altération qui l'obscurcissent.

**Oxydation du manganèse**
Altération du verre conduisant à un brunissement en subsurface et en profondeur dans le verre.

**Panneau**
Elément de verrière dont les dimensions ne dépassent généralement pas un mètre de côté. Il peut avoir des formes variées selon la situation dans la verrière, notamment lorsque la verrière comporte un réseau. Une verrière se compose en principe de plusieurs panneaux.
**Panneton**
Pièce de fer fixée à la barlotière supportant le panneau du vitrail, et percé d'une lumière pour recevoir la clavette (voir Barlotière).

**Papier pH (ou indicateur de pH)**
Languette de papier imprégnée d'un indicateur (ou réactif) réagissant par un changement de couleur à la basicité ou à l'acidité de la solution testée. Le changement de couleur est ensuite comparé à l'échelle de couleur référencée afin d'établir la correspondance avec la valeur de pH. Ce détecteur chimique est un outil simple d'utilisation à usage unique.

**Peinture à froid**
Peinture non cuite composée d'un mélange de pigments et d'un liant.

**Pièce de verre**
Elément constitutif d'un panneau.

**Pige**
Morceau de verre épais servant de guide au diamant ou à la roulette pour la coupe de bandes de verres identiques.

**Plomb**
Baguette de plomb en forme de H servant à assembler les pièces de verre d'un panneau. Se compose d'une partie centrale appelée cœur ou âme et d'ailes, de forme, d'épaisseur et de largeur variées, qui se rabattent sur les verres.

**Plomb de casse**
Baguette de plomb, dont les ailes ont un recouvrement très faible sur le verre (environ 1 mn), utilisée autrefois pour réparer une pièce cassée.

**Pose**
Opération qui consiste à placer et à fixer la verrière dans la baie qu'elle doit occuper.

**Produits d'altération**
Ils sont le plus souvent constitués de gypse, de syngénite et de composés insolubles (silicates).

**Rabattre**
Action de resserrer à l'aide d'un outil en bois ou en plastique les ailes du plomb sur le verre afin de bien le sertir.

**Refixage**
Opération consistant à faire adhérer à nouveau une grisaille pulvérulente ou décollée à la surface du verre.

**Reconstitution**
Rétablissement des lacunes d'une verrière ou d'un panneau, à l'aide d'éléments déplacés remis en place, et/ou sur la base de documents.

**Réintégration**
Rétablissement de la lecture de pièces de verre dégradées par manque de matière (pièces brisées et grugées) ou par manque de peinture (effacement de la grisaille).

**Rejingot**
Relevé sur l'appui de la baie permettant d'assurer l'étanchéité de la verrière. Il peut être modifié et habillé en plomb pour rejeter les eaux de condensation vers l'extérieur.

**Relevé**
Représentation d'une verrière, panneau par panneau, à échelle réduite ou non.

**Remise en plomb (ressertissage)**
Nouveau sertissage d'un vitrail préalablement desserti.

**Remplage**
Ensemble des parties fixes de la baie, destinées à diviser l'ouverture.

**Repiquage**
Action de réincruster une pièce de verre dans un vitrail, en général après un dépiquage.

**Repose**
Réassemblage des éléments d'une verrière ou d'une partie de verrière démontée et remise en place dans la baie.

**Réseau**
Tracé du remplage d'un tympan déterminant des ajours.

**Réseau de plomb**
Ensemble des plombs d'un panneau ou d'une verrière (résille de plombs).

**Ressertissage (cf. Remise en plomb)**

**Restitution**
Réalisation souvent hypothétique d'un vitrail ou d'une partie d'un vitrail disparu ou rétablissement d'un parti primitif présumé.

**Retouche**
Rétablissement de la grisaille de pièces de verre où elle est effacée, par repeints à froid peu adhérents sur le verre lui-même (face externe, interne ou sur verre de doublage) ou sur un collage.

**Sertissage**
Opération qui consiste à assembler les pièces de verre à l'aide de baguettes de plomb pour constituer le panneau.

**Soudure**
Jonction à l'intersection de deux plombs à l'aide d'un mélange d'étain et de plomb appliqué à chaud.

**Syngénite**
Produit d'altération du verre, composé de sulfate de calcium et de potassium.

**Thermoformage**
Opération consistant à mouler un verre neuf, à partir de l'empreinte d'un panneau de vitrail ou d'une pièce de verre ancienne.

**Vergette**
Barre de fer ronde, carrée ou rectangulaire, de 1 cm de diamètre (env.) fixée au panneau par des attaches en plomb, et destinée à rigidifier le panneau entre deux barlotières.

**Verre**
Substance fabriquée, dure, cassante et transparente, de structure vitreuse, essentiellement formée de silicates alcalins.

**Verre plaqué**
Verre constitué de deux couches de couleurs différentes, obtenues au soufflage. C'est la technique qui permet d'obtenir généralement des verres rouges.

**Verrière de protection**
Verrière extérieure doublant la verrière ancienne pour la protéger des diverses atteintes physiques et chimiques. Elle est réalisée en divers matériaux : verre épais, verre à vitre ou encore en matériaux synthétiques (plexiglas). Elle est posée à quelques centimètres de la verrière protégée et ventilée par l'air intérieur de l'édifice.

**Vitrail**
Le vitrail est un ensemble de pièces de verre, généralement peu épaisses (de 2 à 4 mm), découpées en formes diverses selon un dessin préétabli, translucides ou transparentes, colorées ou non et maintenues entre elles par un réseau de plombs. Les pièces de verre peuvent recevoir un décor de grisaille, jaune d'argent, émaux ou gravure. Le mot vitrail désigne donc une technique et non un objet.

**Verrière**
La verrière est la fermeture fixe, en verre d'une baie ou d'une partie de baie, directement maintenue par une armature métallique ou par le cadre en maçonnerie de la baie.  Le verrière peut donc être réalisée suivant diverses techniques.

**Vitrerie**
Désigne l'ensemble des verrières d'un même édifice (ex. la vitrerie gothique de la cathédrale du Mans) ou une verrière à dessins géométriques et répétitifs (ex. une vitrerie à motifs losangés).

# Annexe 4

# BIBLIOGRAPHIE SUCCINTE


## I – Histoire et histoire des techniques

AUBERT, Marcel, et al. *Le vitrail français : sous la haute direction du Musée des arts décoratifs de Paris.* Paris : Ed. 2 Mondes, 1958.

BAUDOIN, Isabelle. A propos de la fabrication des grisailles : choix de textes des origines au XIXe siècle. *Science et Technologie de la Conservation et de la Restauration des oeuvres d'art et du patrimoine,* septembre 1991, n° 2, p. 6-22.

BETTEMBOURG, Jean-Marie. Composition et durabilité des grisailles. *Science et Technologie de la Conservation et de la Restauration des oeuvres d'art et du patrimoine,* septembre 1991, n° 2, p. 47-55.

DEBITUS, Hervé. Recherche pour une formulation nouvelle de grisailles. *Science et Technologie de la Conservation et de la Restauration des oeuvres d'art et du patrimoine,* septembre 1991, n° 2, p. 24-29.

BLONDEL, Nicole. *Le vitrail : vocabulaire typologique et technique.* Paris : Imprimerie nationale - Inventaire général, 1993.

LAFOND, Jean. *Le vitrail : origines, techniques, destinées.* Nouvelle édition mise à jour par Françoise Perrot, Paris : La manufacture, 1988.

LAUTIER, Claudine. Les débuts du jaune d'argent dans l'art du vitrail ou le jaune d'argent à la manière d'Antoine de Pise, *Bulletin monumental*, 2000, t-158, p. 89-107.

LAUTIER, Claudine. L'usage de la grisaille sur la face externe des vitraux de la cathédrale de Chartres. *Vitrea*, 1990, n° 5/6, p. 23-29.

Les arts du verre : histoire, technique et conservation. *Journées d'études de la SFIIC,* Nice, 17-19 septembre 1991. Champs-sur-Marne : SFIIC, 1991. p. 225.

PERROT, Françoise. La mise en oeuvre de la peinture dans le vitrail au moyen âge. *Science et Technologie de la Conservation et de la Restauration des oeuvres d'art et du patrimoine,* septembre 1991, n° 2, p. 56-59.

PERROT, Françoise. Un aspect de l'histoire du vitrail : la restauration ancienne. *Vitrea,* 1991, n° 7, vol. I, p. 3-10.

## II – Altérations

BIRON, Isabelle. Évolution des compositions chimiques et dégradation des verres. *Il colore nel medioevo : arte, simbolo, tecnica : la vetrata in occidente dal IV all''XI secolo : atti delle giornate di studi,* Lucca, 23-24-25 septembre 1999 / a curi di Francesca Dell'Acqua e Romano Silva. Lucca : Istituto storico lucchese, 2001, p. 247-256.

LIBOUREL Guy, BARBEY Pierre, CHAUSSIDON Marc. L'altération des vitraux, *La Recherche,* vol. 25, n° 262, Paris, 1994, p. 168-172,185-187.

PALLOT FROSSARD, Isabelle. Les altérations et la restauration du vitrail. *Regards sur le vitrail : actes du colloque tenu à Vannes du 11 au 13 octobre 2001.* Arles : Actes Sud, 2002, p. 91-105.
PEREZ Y JORBA, Monique. Composition et altération des grisailles anciennes. *Science et Technologie de la Conservation et de la Restauration des œuvres d'art et du patrimoine,* septembre 1991, n° 2, p. 43-45.

PINTO, Anne. Le problème du manganèse oxydé dans les verres anciens : recherche et expérimentation. *Vitrea,* 1991, n° 7, vol. I, p. 27-33.

## III - Conservation restauration

BAUDOIN, Isabelle. Restaurations françaises et anglaises : quelques réflexions. *Vitrea,* 1991, n° 7, vol. II, p. 73-83.

BETTEMBOURG, Jean-Marie. La restauration et la conservation des vitraux. *La Recherche,* 1994, vol. 25, n° 262, p. 108.

BURCK, Jean-Jacques, GERMAIN-BONNE, Dominique, GERONAZZO, Delphine. Les matériaux de comblement de lacunes : étude de la coloration et de la durabilité. *Le vitrail comme un tout : histoire, techniques, déontologie des restitutions et compléments : actes du 4ème Forum international sur la conservation et la technologie du vitrail historique,* Troyes-en-Champagne, 17, 18 & 19 mai 2001. *Corpus vitrearum News letter,* mai 2001, n° 48. *Bulletin de liaison de la section française de l'Icomos,* hors-série 2001, p. 105-113.

CAEN, Joost M.A. The idiom of the visual arts and the replacement of missing pieces in stained glass objects : a matter of ethics and aesthetics. *Le vitrail comme un tout : histoire, techniques, déontologie des restitutions et compléments : actes du 4ème Forum international sur la conservation et la technologie du vitrail historique,* Troyes-en-Champagne, 17, 18 & 19 mai 2001. *Corpus vitrearum News letter,* mai 2001, n° 48. *Bulletin de liaison de la section française de l'Icomos,* hors-série 2001, p. 57-61.

FROSSARD, Isabelle. La conservation des vitraux. *Monuments historiques,* juin-juillet 1986, n° 145, p. 25-30.

JOURDAIN-TRELUYER, Véronique. L'E.D.T.A. et ses sels sodiques, quelques précisions. *Conservation-restauration des biens culturels,* décembre 1991, p. 57-61.

PALLOT, Eric. Réintégrations et créations d'accompagnement : deux exemples récents de restauration de vitraux dans l'Aube, dans les églises de Charmont-sous-Barbuise et de Ricey-Bas. *Le vitrail comme un tout : histoire, techniques, déontologie des restitutions et compléments : actes du 4ème Forum international sur la conservation et la technologie du vitrail historique,* Troyes-en-Champagne, 17, 18 & 19 mai 2001. *Corpus vitrearum News letter,* mai 2001, n° 48. *Bulletin de liaison de la section française de l'Icomos,* hors-série 2001, p. 114-122.

PALLOT-FROSSARD, Isabelle. Le vitrail : conservation, restauration, création. *Monumental,* juin 1993, n° 3, p. 7-41.

PINTO, Anne. Le nettoyage des verrières médiévales. *Vitrea,* 1990, n° 5/6, p. 36-43.

## IV – Conservation préventive

BARLEY, Keith C. Practical experience of isothermal glazing. *News Letter du Corpus Vitrearum Medii Aevi,* juillet 1994, n° 45, p. 26-28.

BETTEMBOURG, Jean-Marie, BURCK, Jean Jacques., PETIT, Michel, et al. Conservation des vitraux par une verrière extérieure. *News Letter du Corpus Vitrearum Medii Aevi,* 1988, n° 41/42, p. 7-12.

BETTEMBOURG, J.M. Preventive conservation of stained glass windows. *Preventive conservation. Practice, theory and research : preprints of the contributions to the Ottawa congress,* 12-16 September 1994. London : The International institute for conservation of historic and artistic works, 1994, p. 110-115.

MOUTON, Benjamin. Cathédrale Notre-Dame, Evreux, Eure. *Monumental,* juin 1993, n° 3, p. 50-53.

PALLOT-FROSSARD, Isabelle. Petite histoire des verrières de protection : où comment un vitrail échappe à la clôture. *Monumental,* 2004, semestriel 1, p. 90-99.

PINTO, Anne. Conservation des fragments originaux, réintégration illusionniste ou non illusionniste de lacunes importantes. In *Le vitrail comme un tout : histoire, techniques, déontologie des restitutions et compléments : actes du 4ème Forum international sur la conservation et la technologie du vitrail historique,* Troyes-en-Champagne, 17, 18 & 19 mai 2001. *Corpus vitrearum News letter,* mai 2001, n° 48. *Bulletin de liaison de la section française de l'Icomos,* hors-série 2001, p. 68-73.

SAINT-JOUAN, Arnaud de. Quelques exemples de mise en œuvre de verrières de doublage : cathédrale Saint-Gatien, Tours (Indre-et-Loire). *Monumental,* 2004, semestriel 1, p. 101.

SCHMÜCKLE-MOLLARD, Christiane. Eglise Notre-Dame-des-Marais, La Ferté-Bernard. *Monumental,* juin 1993, n° 3, p. 42-48.

## A consulter également :

HEROLD, Michel. Le corpus vitrearum . *Monumental,* 2004, semestriel 1, p. 88-89.

**Ministère de la Culture et de la Communication**
Manuels de sensibilisation de la direction de l'architecture et du patrimoine

Manuel de sensibilisation à la restauration de la maçonnerie

Manuel de restauration, conservation et création de vitraux






ISBN 978-2-11-129951-1